



## **Einfluss der relativen Luftfeuchte und Futtermenge auf die Überlebensrate während des ersten Larvenstadiums der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*)**

Bachelorarbeit

von

**Alexander Dubsky**

Bachelorstudiengang 2014

Abgabedatum 7. September 2017

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Fachkorrektoren:

Jürg Grunder  
ZHAW Campus Grüental 8820  
Wädenswil  
Tel: +41 58 934 55 89  
E-Mail: grng@zhaw.ch

Christoph Sandrock  
Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL  
Ackerstrasse 113 5070 Frick  
Tel: +41 62 865 04 19  
E-Mail: christoph.sandrock@fibl.org

## Impressum

Zitierstil: APA (American Psychological Association)

### Keywords:

Hermetia illucens

Schwarze Soldatenfliege

Black Soldier Fly

Stratiomyidae

Relative humidity

Humidity

Larvae

### Autoren:

Alexander Dubsky

[dubskale@students.zhaw.ch](mailto:dubskale@students.zhaw.ch)

### Institut:

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Departement Life Sciences und Facility Management

Grüental, Postfach

CH – 8820 Wädenswil

### Danksagung:

Der Dank gilt Jürg Grunder, Christoph Sandrock und dem FiBL, welche es ermöglicht haben, dass diese Arbeit zustande kam.

Zusätzlich bedanke ich mich herzlich für die Hilfsbereitschaft und die kräftige Unterstützung während der Versuchsdurchführung, bei Christoph Sandrock, Jens Wohlfahrt und beim Team der Versuchsanlage Uwe Krug und Markus Leubin. Ohne diese Unterstützung, wäre die arbeitsintensive Durchführung des Versuchs nicht möglich gewesen.

---

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde in einer schweizweit einzigartigen Versuchsanlage des Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick ein Versuch aufgestellt, welcher den Einfluss der relativen Luftfeuchte auf die Überlebensrate der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) während des ersten Larvenstadiums innerhalb von 24h nach dem Schlupf eruiert. Dabei galt primär die Frage, ob die relative Luftfeuchte (rLF) einen Einfluss hat, und wenn ja, wie hoch diese gewählt werden soll. Zusätzlich wurde unter gleichen klimatischen Bedingungen der Einfluss der Futtermenge auf die Überlebensrate, das durchschnittliche Larvengewicht und auf den gesamten Biomassen-Aufbau untersucht. Nebenbei wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um eine Übersicht über die Bedürfnisse der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) zu schaffen, deren Ansprüche, welche sie an eine Zucht stellt, und den Stand der Forschung inkl. Forschungslücken zu beleuchten. Die Rahmenbedingungen des Versuches basierten bereits auf generierten Erkenntnissen der Versuchsanlage. Dabei wurde mittels 5 Klimaschränken eine relative Luftfeuchte von 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, und 80 % bei 27 °C erreicht. In diese kam eine bestimmte Anzahl von Eiern, welche 1-3 Tage alt waren, so dass diese unmittelbar vor dem Schlupf standen. Unter die Eier wurden Boxen mit Hühnerfutter, welches als Nährmedium diente, gestellt und nach 24h gewechselt. Während des Versuches kamen zwei verschiedenen Futtermengen zur Anwendung. Während der Schlupfzeit und dem ersten Larvenstadiums wurden die Larven unter den entsprechenden Klimateinstellungen 24h inkubiert. Danach kamen für weitere 4 Tage alle Gruppen zusammen in einen Klimaschrank bei 60 % relativer Luftfeuchte. Am 5. Tag bekamen diese eine zweite Futterration, bevor sie am 7. Tag geerntet wurden, damit die Larvenanzahl und das durchschnittliche Larvengewicht der einzelnen Gruppen bestimmt werden konnte. Die generierten Daten wurden mittels des statistischen Programms „R“ ausgewertet. Dabei konnte ein Einfluss der relativen Luftfeuchte auf die Überlebensrate festgestellt werden. Gruppen, welche unter 50 % inkubiert wurden, hatten eine signifikant niedrigere Überlebensrate als die Gruppen darüber. Die höchste Überlebensrate konnte bei der Gruppe mit 80 % Luftfeuchte festgestellt werden, obwohl der Unterschied zu 50 % Luftfeuchte nicht signifikant war. Bei den Gruppen mit 60 % und 70 % Luftfeuchte konnte keine signifikant höhere Überlebensrate festgestellt werden. Höhere Futtermengen hatten einen signifikant negativen Einfluss auf die Überlebensrate, jedoch einen signifikant positiven Einfluss auf das durchschnittliche Larvengewicht und die gesamte generierte Biomasse. Zusätzlich konnte eine Korrelation zwischen Anzahl Larven und Larvengewicht festgestellt werden, welche auf die verfügbare Futtermenge pro Larve zurückzuführen ist. Aus dem durchgeführten Versuch geht hervor, dass für eine erfolgreiche Larvenaufzucht, bereits während der ersten 24 h eine relative Luftfeuchte von über 50 % empfohlen wird. Die Futtermenge sollte zu Beginn tief liegen und erst ab dem 3. bis 4. Tag erhöht werden. Das ermöglicht eine platzsparende Aufzucht in den ersten Tagen, welche durchaus mit

---

Klimaschränken bewerkstelligt werden kann. Es wird angeraten in Zukunft weitere Versuche bezüglich der relativen Luftfeuchtigkeit durchzuführen und dabei eine einer höheren Anzahl von Replikaten mit ein zu beziehen.



## Abstract

During this Bachelor thesis, an experiment was undertaken in a unique experimental facility: 'The Research Institute for Organic Agriculture' (FiBL) in Frick, Switzerland, which focused on the survival rate of the *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) during the first larval stage within 24 hours of hatching. The primary question was: could the relative humidity have an influence within this time period on the survival rate, and if so, how high the relative humidity must be for successful breeding. In addition, under the same climatic conditions, the influence of the feed quantity on: survival rate; average larval weight and overall biomass formation was investigated. In the meantime, a literature search was conducted to provide an overview of the demands of the *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*), with a particular focus on breed and current research gaps. The conditions of the experiment were already based on the generated findings of the experimental facility. Relative humidity of 40, 50, 60, 70 and 80 % at 27 °C was applied with 5 climatic chambers. Additionally within each climatic chamber a certain number of 1-3 day old eggs were placed, so that they stood immediately before hatching. Boxes containing chicken feed, which served as nutrient medium, were placed under the eggs and changed after 24 h, with two different feed amounts tested. During the hatching period and the first larval stages, the larvae were incubated under the corresponding climate settings for 24 hours. Then for a further 4 days, all groups were consolidated in a climatic chamber at 60% relative humidity. On the 5th day, they received a second feeding before they were harvested on the 7th day to determine the number of larvae and average larval weight of each group. The generated data was evaluated with the statistical program "R" and thus an influence of the relative humidity on the survival rate could be determined. The outcome showed that the group that was incubated under 50% had a significantly lower survival rate than other groups belonging to the 50 % humidity cohort and higher. The highest survival rate was found in the group with 80 % humidity, although the difference to the group with 50 % humidity was not statistically significant. In the groups with 60 % and 70 % humidity, no significance in higher survival rate was found. Higher feed levels have a significant negative impact on survival, but a significantly positive effect on the average larval weight and amount of produced biomass. The experiment concluded that for a successful larvae rearing, a relative humidity of over 50 % is necessary during the first 24 hours. The feed quantity should be as low as possible at the beginning and increasing after the 3<sup>rd</sup> or 4<sup>th</sup> day. Hence this allows space-saving rearing during the first days, which can be achieved with climate chambers. This experiment has shown that the influence of relative humidity could have a considerable impact on the larvae survival rate within the first few hours of larvae life. It is advisable to undertake more research to achieve the right level of relative humidity, as well as replication studies. Furthermore it opens the case to analyze the correct feed ratio to be applied, and hence determining the optimal cost-benefit ratio.

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	9
2	Zielsetzung .....	11
3	Literaturübersicht .....	12
3.1	Lebensraum von <i>Hermetia illucens</i> .....	12
3.1.1	Verbreitung .....	12
3.1.2	Klima .....	14
3.1.3	Lebenszyklus .....	14
3.1.4	Nahrung .....	16
3.2	Massenhaltung .....	17
3.2.1	Produktionssysteme .....	18
3.2.2	Ansprüche .....	22
3.2.3	Larven-Mast .....	26
3.2.4	Nährstoffgehalt der Larven .....	31
3.2.5	Problematik und Forschungslücken .....	32
4	Versuch am FiBL .....	34
4.1	Bisherige Erkenntnisse .....	34
4.1.1	Frühes Larvenstadium .....	35
5	Methode .....	37
5.1	Versuchsführung .....	37
5.2	Statistische Auswertung .....	42
6	Resultate .....	44
7	Diskussion .....	52
8	Schlussfolgerungen .....	57
9	Literaturverzeichnis .....	59
	Anhang .....	68

---



**Glossar**

Afrotropis	Bezeichnet den Teil von Afrika, welcher südlich der Sahara liegt
Australasien	Bezeichnet die Region welche um Australien, Neuseeland, Neuguinea, Melanesien und Indonesien
BSF	Black Soldier Fly
BSFL	Black Soldier Fly Larvae
Diptera	Die Zweiflügler, eine Ordnung der Insekten
Hatchling shower	Vorrichtung an der Eierkartons mit Eigelegen der Schwarzen Soldatenfliege befestigt sind
Mandibeln	Oberkiefer und Unterkiefer bei Insekten
Neoarktis	Bezeichnet Nordamerika, Grönland, und Hochland von Mexico
Neotropis	Bezeichnet Südamerika, Mittelamerika, westindische Inseln, südlichen Teil von Mexiko und die Südspitze Floridas
rLF	Relative Luftfeuchte
Saprophage	Tierische Organismen, welche sich von toter, organischer Materie ernähren
TS	Trockensubstanz

# 1 Einleitung

Durch den weltweit stetig ansteigenden Fleischkonsum, erhöht sich kontinuierlich auch der Bedarf an Futtermitteln für die Tiermast. Diese Futtermittel sind jedoch oft auch für den menschlichen Verzehr geeignet, wie zum Beispiel Soja oder Getreide. Somit entsteht durch die Tiermast bis zu einem gewissen Grad eine Nahrungsmittelkonkurrenz zum Mensch. Wegen der wachsenden Weltbevölkerung und der damit verbundenen Nachfrage nach Lebensmitteln, werden bis zum Jahr 2050 laut der UN-Organisation Food and Agricultural Organisation (FAO) 70 % mehr Lebensmittel produziert werden müssen. Was dies anbelangt, sind die potentiell verfügbaren Agrarflächen jedoch bereits erschlossen (Veldkamp u. a., 2012). Dies führt dazu, dass der Preis von Futtermitteln in den letzten Jahren stetig gestiegen ist. Bereits heute gehen die Kosten zu 60-70 % der Produktion auf Futtermittel zurück. Daher ist die Suche nach alternativen Proteinquellen unerlässlich (van Huis, 2013). Insekten allgemein, insbesondere die Schwarze Soldatenfliege, oder auch Schwarze Waffenfliege *Hermetia illucens*, bringen in diesem Bereich viel Potential mit sich. Untersuchungen haben aufgezeigt, dass diese in der Geflügel-, Schweine- und Fischmast einen Teil des Soja- und Fischmehls ersetzen könnte (Sheppard u. a., 1994; Barragan-Fonseca u. a., 2017). Diese kann eine Rolle in der Abfallrecycling über nehmen. Die Larven können die Frischmasse von biologische Abfälle bis zu 25 % in Körpermasse umwandeln. Die Trockensubstanz der Körpermasse erreicht, einen Rohproteine- und Rohfett-Gehalt von  $\pm 42\%$  und  $\pm 35\%$  (Sheppard u. a., 1994; Dortmans u. a., 2017; Gobbi, Martinez-Sanchez u. a., 2013). Um eine grossflächige Produktion mit effizienten Abläufen zu ermöglichen, welche auf Grund der hohen Lohnkosten in Europa auch mit Produktionen ausserhalb Europas mithalten kann, bedarf es noch weiterer Forschung.

Die Massenproduktion der Schwarzen Soldatenfliege umfasst aus wirtschaftlicher Sicht vor allem die Eierproduktion, Aufzucht der Junglarven und den Verkauf von Produkten aus Larvenmasse. Bis anhin stellt dieser Prozess jedoch limitierende Engpässe dar. Hohe Mortalitätsraten bis zum Ende des ersten Larvenstadiums, welche durch verschiedene Umwelteinflüsse bedingt sind, erschweren eine effiziente und konstante Produktion, die zum Betreiben einer kommerziellen Anlage notwendig wäre. Aktuell gibt es noch wenige Untersuchungen, die Empfehlungen für ein Betriebskonzept liefern würden, um eine stabile Produktion garantieren zu können. Auch besteht ein Forschungsbedarf, was die optimalen Haltungsbedingungen betrifft.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde in einer schweizweit einzigartigen Versuchsanlage, des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL) in Frick, primär der Einfluss der relativen Luftfeuchte während des Schlüpfens und der folgenden 24 h des ersten Larvenstadiums untersucht. Dieser Einfluss wird bei gleichbleibendem Versuchsdesign, also mit verschiedenen relativen Luftfeuchtekonzentrationen, während der ersten 24 h auf die Wachstumsperiode der ersten Woche (8 Tage) untersucht. Anhand der Überlebensraten der Larven, welche am Schluss durch auszählen

bestimmt wurde, sollte die ideale Luftfeuchte für die Larvenaufzucht innerhalb der ersten 24 h bestimmt werden. Zusätzlich wird die Auswirkung einer erhöhten Futtergabe überprüft. Eine Literaturrecherche über die momentanen Erkenntnisse half später die Resultate besser zu interpretieren.



## 2 Zielsetzung

In dieser Bachelorarbeit geht es darum, optimale Umgebungsparameter ausfindig zu machen, die relevant für die Junglarvenproduktion wären. Dabei gilt es Forschungsfragen zu klären, welche die im Anhang E aufgeführten Punkte umfassen. Die Einflüsse der rLF und der Futtermenge auf das erste und bis zum zweiten Larvenstadium werden analysiert. Diese Untersuchung soll abklären, welche Anforderungen an die Umgebungsparameter für ein möglichst effizientes Larvenwachstum während der ersten 24 h und darüber hinaus bestehen. Hierzu wird abgeklärt, ob eine erhöhte rLF bereits einen positiven Einfluss auf den Larvenschlupf aus den Eihüllen hat und wie hoch die rLF in Zukunft gewählt werden soll, um eine möglichst hohe Schlupf- und Überlebensrate zu bewirken. Ausserdem wird der Einfluss einer erhöhten Futtermenge auf die durchschnittliche Gewichtszunahme der Larven und ebenfalls auf deren Überlebensraten geprüft.

Um die Larvenproduktion zu optimieren, wird eine Grundrecherche über aktuelle Forschungsergebnisse durchgeführt. Dabei sollten der aktuelle Stand der Technik und neuere Erkenntnisse beleuchtet und zusammengetragen werden. Diese sollen helfen neben der Luftfeuchte weitere potentiell negative Einflüsse auf die Überlebensrate ausfindig zu machen. In der Diskussion der Arbeit werden die Ergebnisse der Literaturrecherchen ebenfalls einfließen, um die erhaltenen Resultate ausführlicher interpretieren zu können.

Die Versuche werden am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick (Aargau) durchgeführt. Während 5 Wochen werden an je 3 Tagen Versuchszeit pro Woche 5 Test-Gruppen mit unterschiedlichen relativen Luftfeuchten (40 %, 50 %, 60 %, 70 % und 80 %) untersucht. Die ersten 3 Wochen erhalten die Larven normale Futterrationen, welche dann in den Wochen 4 und 5 erhöht werden. Die Luftfeuchte wird mittels Klimaschränken, während der ersten 24 h eingestellt. Damit jeden Tag ungefähr die gleiche Menge an Larven schlüpft, werden 3-mal wöchentlich Eierkartons mit 400'000 Eiern den Gruppen beigelegt. Die Eier benötigen 4-5 Tage bis zum Schlupf. Die frisch geschlüpften Larven, rieseln in eine Box, welche ein Futtersubstrat enthält und 24 h inkubiert wird. Danach kommen alle Boxen zusammen in einen gemeinsamen Klimaschrank und werden die weiteren 4 Tage bei 70 % relativer Luftfeuchte inkubiert. Es wird darauf geachtet, dass während des Wechsels der Klimaschränke, alle Gruppen gleich behandelt werden, damit ausschliesslich der Unterschied während der ersten 24h einen Effekt hinterlässt. Nach 5 Tagen bekommen die Larven eine zweite Futtergabe und werden bei Raumklima (27 °C und 50-55 % Luftfeuchte) weitere 2 Tage inkubiert. Nach 7 Tagen werden die Larven manuell gesiebt und deren Durchschnittsgewicht sowie die Gesamtzahl ermittelt. Die Gesamtzahl soll später in einer statistischen Erhebung Aufschluss über die Überlebensrate geben, welche durch die rLF und erhöhte Futtermenge beeinflusst wird, sowie gegebenenfalls über die jeweiligen Wochentage.

### 3 Literaturübersicht

#### 3.1 Lebensraum von *Hermetia illucens*

Die Schwarze Soldatenfliege *Hermetia illucens*, auch BSF genannt (Black Soldier Fly), gehört zu der Unterfamilie der Hermetiinae. Die Unterfamilie Hermetiinae gliedert sich in fünf bekannte Gattungen, von denen die am häufigsten verbreitete die *Hermetia* ist. Diese umfasst 76 bekannte Arten, von denen 12 in der Neoarktis, 52 Neotropis, 3 Afrotropis, 10 Australasien, und 14 Arten in der orientalischen Region vorkommen (Roháček & Hora, 2013). Eine Erklärung der oben genannten Lebensräume ist im Glossar aufgeführt.

##### 3.1.1 Verbreitung

Die Schwarze Soldatenfliege *Hermetia illucens* bevorzugt als Lebensraum, nährstoffreiche Ökosysteme, welche viel organisches Material beinhalten (Oliveira u. a., 2015). Die ursprüngliche Verbreitung der Schwarzen Soldatenfliege lag in den Subtropen und der Tropenregion Südamerikas (Neotropis). Von dort aus wurde sie mit Hilfe menschlicher Aktivitäten in weite Teile der Welt verschleppt. Da die Larven von der Schwarzen Soldatenfliege sich als Tierfutter und Abfallverwerter eignen, wurde die Verbreitung durch den Handel gefördert. Der Handel mit Lebensmitteln spielte darin eine wesentliche Rolle. Da die Larven ein breites Nahrungsspektrum haben, konnten diese ebenfalls über den Lebensmittelhandel eingeschleppt werden (Roháček & Hora, 2013). Die wärmeliebende Art ist heute in Nord-, Südamerika, Australien von Samoa bis Hawaii in milden bis warmen Regionen anzutreffen (Oliveira u. a., 2015). In der Abbildung 1 ist die globale Verbreitung von *Hermetia illucens* von 1983 ersichtlich.



Abbildung 1 Vorkommen von *Hermetia illucens* (Rozkosný, 1983)

In Europa wurde diese erstmals 1926 auf Malta gesichtet und konnte sich nach dem Zweitem Weltkrieg über weite Teile des westlichen und östlichen Mittelmeerraums ausbreiten. Mittlerweile konnte die Schwarze Soldatenfliege in Nordwestfrankreich, der Schweiz, in Süddeutschland und im Nordosten der Tschechischen Republik beobachtet werden (Roháček & Hora, 2013).

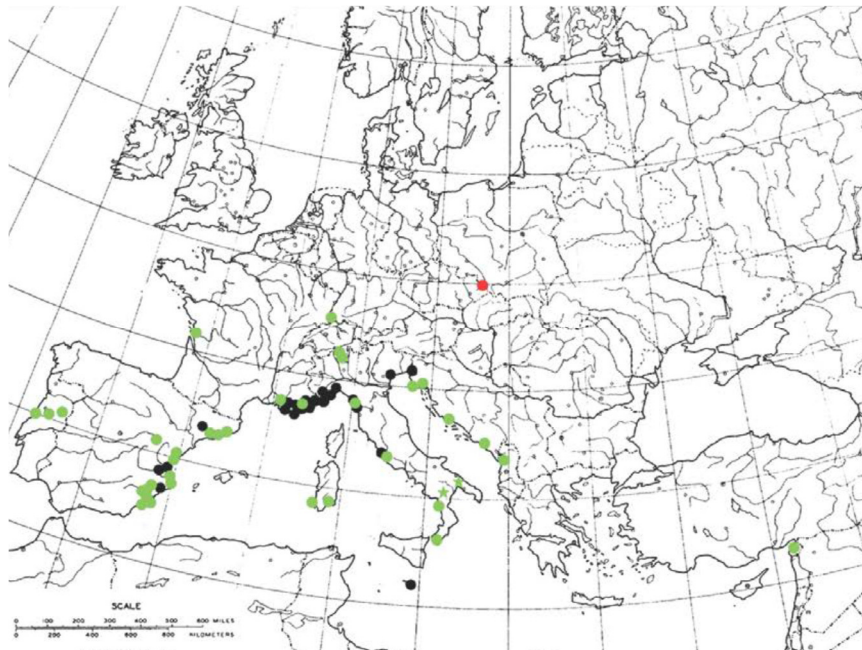


Abbildung 2: Fundorte von *Hermetia illucens* in Europa und Nahost. (Roháček & Hora, 2013)

Die Punkte in Abbildung 2 zeigen die dokumentierten Fundorte der Schwarzen Soldatenfliege in Europa und Nahost. Die schwarzen Punkte zeigen die Verbreitung um 1983, die grünen Punkte sind die neu dokumentierten Fundstellen aus dem Jahr 2013 und der rote Punkt symbolisiert die nördlichste gelegene Fundstelle in 2010 (Roháček & Hora, 2013).

Da adulte Tiere und Larven von der Schwarzen Soldatenfliege für ihren Fortbestand warme Temperaturen benötigen, sind nördliche Populationen oft nur von temporärem Bestand. Larven können den Winter nur überleben, wenn sie frostfrei überwintern. Die Soldatenfliege ist stark anpassungsfähig. Da sich die Larven saprophag ernähren, können diese gleichzeitig tote pflanzliche sowie tierische Nährstoffquellen nutzen (Gobbi u. a., 2013). Das breite Nahrungsspektrum ermöglicht ihnen in neuen, milden Regionen schnell Fuss zu fassen solange das Nahrungsangebot vorhanden ist. In kälteren Regionen können die Larven in frischem Kompost-, oder Misthaufen überwintern, da diese Quellen durch die Verrottungsprozesse Wärme abgeben und ihnen gleichzeitig als Nahrung dienen. Zusätzlich können milde Winter die Verbreitung begünstigen (Roháček & Hora, 2013). Bis anhin war die Verbreitung vom 45°N bis zum 40°S Breitengrad beschrieben (Sheppard u. a., 1994). Der von Jindřich Roháček angegebene Fundort von 49°55 Nördlicher-Breite ist jedoch deutlich weiter im Norden als durch Sheppard 1994 beschrieben wurde.

### 3.1.2 Klima

Der Generationswechsel ist an die klimatischen Bedingungen gekoppelt. So wird beschrieben, dass die Schwarze Soldatenfliege in den gemässigten Breiten nur eine Generation pro Jahr hervorbringt (Roháček & Hora, 2013), während in milderen Gebieten der USA (Georgia), **drei Generationszyklen** pro Jahr verzeichnet werden können (Diclaro & Kaufman, 2009).

### 3.1.3 Lebenszyklus

Das Weibchen bevorzugt für die Eiablage Spalten oder enge Hohlräume, welche nahe von oder direkt am sich zersetzenden organischen Material liegen. Solch ein Ei-Gelege, welches sich in einer Spalte befindet, ist in der unteren Abbildung 3 ersichtlich.



*Abbildung 3 Ei-Gelege der Schwarzen Soldatenfliege (Park, 2016)*

Die Ei-Gelege können im Durchschnitt bis 998, ca. 1 mm grosse, gelb bis cremefarbene Eier enthalten (Booth & Sheppard, 1984). Die Eientwicklung kann je nach Umweltbedingungen, 4 Tage bis 3 Wochen dauern. Zu Beginn haben die Larven eine blassgelbe Farbe mit einem dunklen Kopf, wo auch die Mundwerkzeuge vorhanden sind. Die geschlüpften Larven durchlaufen insgesamt 6 Stadien, welche unter optimalen Bedingungen bereits nach 2 Wochen und bei ungünstigen Bedingungen erst nach 4 bis 6 Monaten abgeschlossen sind. Die Larven können eine Gesamtlänge von 27 mm und eine Breite von 6 mm erreichen (Diclaro & Kaufman, 2009; Gobbi u. a., 2013; Park, 2016).

Das Vorpuppenstadium ist erkennbar an der bräunlichen Verfärbung der Larve, wie sie in Abbildung 4 ersichtlich ist. In diesem Stadium nimmt die Larve keine Nahrung mehr zu sich und entleert ihren

Darm. Sie hat genügend Fettreserven die sie nun für die Migration und Verpuppung nutzt. Die Mundwerkzeuge wurden zu einem Hacken umgewandelt, welcher zum Klettern oder Graben dienlich ist (Sheppard u. a., 1994). Die Larve verlässt nun die Nahrungsquelle und sucht vorzugsweise einen trockenen Standort im Umfeld auf. Ist ein geeigneter Standort gefunden, wird die Verpuppung eingeleitet, welche 6 Stunden dauern kann. Dabei härtet die zuletzt gebildete Haut der Larve, unter Einlagerung von Calciumcarbonatkristallen aus und wird somit von ihr als Kokon benutzt. Das Puppenstadium kann in vier morphologische Entwicklungsstadien eingeteilt werden.



*Abbildung 4 Lave im Vorpuppenstadium (Park, 2016)*

Es wird beschrieben, dass die Entwicklung, welche unter natürlichen Bedingungen, wie sie in der brasilianischen Savannenlandschaft oder atlantischen Regenwäldern Brasiliens anzutreffen sind, Wochen bis einige Monate dauern kann (Barros-Cordeiro, Bão, & Pujol-Luz, 2014). Dabei wirkt sich das Nahrungsangebot, welches der Larve zur Verfügung steht auf die Dauer des Puppenstadiums aus (Gobbi u. a., 2013; Oliveira u. a., 2015). Genauer wird ein Zeitraum von 9 Tage bis 5 Monate genannt (Oliveira u. a., 2015). Unter Laborbedingungen bei 27 °C und zirka 60 % relativer Luftfeuchte dauert das Stadium 8 Tage (192 h) (Barros-Cordeiro u. a., 2014). Der Anteil der insgesamt geschlüpften Weibchen kann unterschiedlich hoch sein. Diese sind etwas grösser als die Männchen und deren Anteil kann variieren und bis zu 60 % betragen (Tomberlin & Sheppard, 2002). Etwa zwei Tage nach dem Schlupf paaren sich die etwa 15 bis 20 mm grossen Tiere. Die adulten Tiere zehren von den Fettreserven aus dem Larvenstadium und nehmen keine weitere feste Nahrung auf (Gobbi u. a., 2013). Die Lebensdauer der adulten Tiere beträgt zwischen 7 bis 21 Tage (Oliveira u. a., 2015; Oonincx u. a., 2016). Jedoch kann diese verlängert werden, wenn den adulten Tieren eine Trinkmöglichkeit mit Wasser ermöglicht wird, leben diese 10 bis 14 Tage (Zhou u. a., 2013) und 16 bis 21 Tage bei Zuckerwasser (Oonincx u. a., 2016).

### 3.1.4 Nahrung

Die Larven der Schwarzen Soldatenfliege ernähren sich saprophag. Das heisst, sie ernähren sich ausschliesslich von organischem Detritus, tierischem oder pflanzlichem Ursprungs. Das führt dazu, dass sie ein grosses Nahrungsspektrum besitzen (Gobbi u. a., 2013).

Darum kann man sie häufig in landwirtschaftlichen Gebieten antreffen, da in diesen grosse Mengen an organischen Abfällen anfallen, wie faule Früchte und Gemüse, grosse Mengen an tierischen Ausscheidungen oder auch toten Tieren (Diclaro & Kaufman, 2009). Die Tatsache, dass sich die Larven auch von Aas ernähren, wird in manchen Ländern durch die Forensik genutzt. Anhand des Entwicklungsstadiums der Larven kann man den postmortalen Zeitpunkt genau festlegen (Barros-Cordeiro u. a., 2014).

In den Vereinigten Staaten können Larven der Schwarzen Soldatenfliege häufig in wenig umgesetzten Komposthaufen, Trockentoiletten bei Campingplätzen oder Hühnermisthaufen angetroffen werden. Es scheint, dass sie Nahrungsquellen bevorzugt, welche am häufigsten in der Umgebung anzutreffen sind und bereits von Artgenossen genutzt werden. Stellen, welche bereits Ei-Gelege oder Larven der Schwarzen Soldatenfliege beinhaltet, wirken daher besonders attraktiv (Dortmans u. a., 2017; Sripontan u. a., 2017). Es werden Nahrungsquellen bevorzugt, welche feucht sind, aber nicht nass oder zu trocken. Die Schwarze Soldatenfliege kann nur im Larvenstadium grosse Mengen an Futter aufnehmen, da diese geeignete Mundwerkzeuge besitzen. Diese sind auf der Aufnahme, welche unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) entstand, in Abbildung 5 ersichtlich.

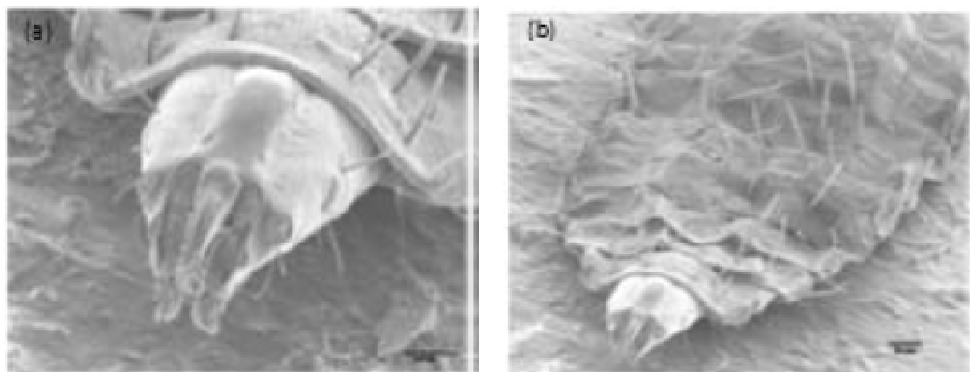


Abbildung 5 Detailaufnahme des Larvenkopfs a) und b) (Oliveira u. a., 2015)

Adulte Tiere hingegen besitzen keine Mandibeln und können daher nur Flüssigkeiten aufnehmen (Oliveira u. a., 2015). Der Saugrüssel des adulten Tieres ist in der unteren Abbildung 6 ersichtlich, welche mit dem REM angefertigt wurde.



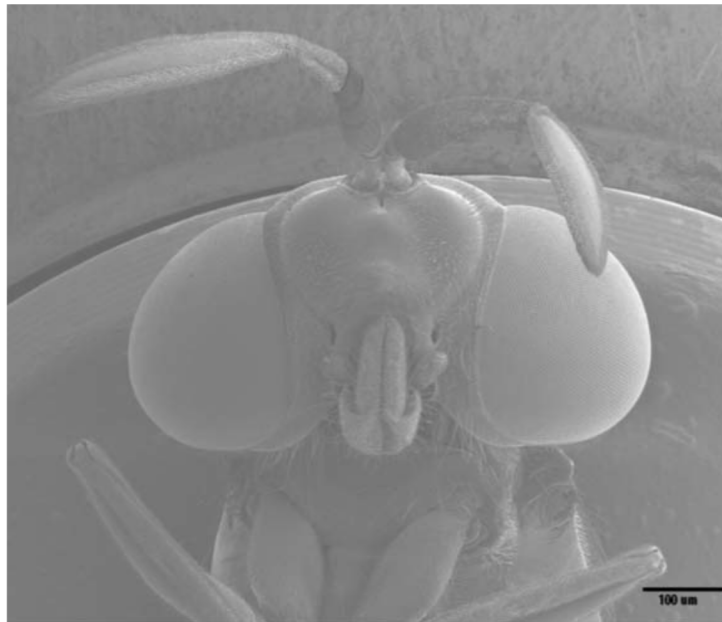


Abbildung 6 Frontalansicht des Kopfes mit Saugrüssel, unter dem (REM) (Oliveira u. a., 2015)

Die Morphologie und Lebensdauer der adulten Tiere ist von der Art und Menge der Nahrung abhängig, welche im Larvenstadium verfügbar war, abhängig und kann an der geometrischen Analyse der Flügelform, wie sie bei Diptera Arten angewandt wird, nachgewiesen werden (Gobbi u. a., 2013). Dies schien jedoch in einer neueren Studie nicht der Fall zu sein (Oliveira u. a., 2015). Weitere Informationen über den Einfluss von der Art des Futters auf die Entwicklung der Schwarzen Soldatenfliege und die Futterpräferenzen, sind im Kapitel, „3.2.3 Larven-Mast/ Einfluss des Futters“ aufgeführt.

### 3.2 Massenhaltung

Die Haltungsform ist eine Frage des geographischen Standorts, der Menge der verfügbaren Abfallstoffe und der Menge zu produzierender Larven. Es ist wichtig, dass man versucht den natürlichen Ansprüchen der Schwarzen Soldatenfliege möglichst entgegen zu kommen und gleichzeitig die Lebenszyklen und die Abfallverwertung kontrolliert. (Dortmans u. a., 2017).

Mit der Zucht der Schwarzen Soldatenfliege *H. illucens* ermöglicht sich ein neuer Weg zur Proteingewinnung durch Verwertung von minderen Abfällen. So ist die Schwarze Soldatenfliege in der Lage, tierischen oder pflanzlichen Abfall, welcher sich für den menschlichen oder tierischen Konsum nicht mehr eignet, in hochwertige Fette und Proteine umzuwandeln. Die wiederum in der Tiermast Verwendung finden können. Das Potential zeigt sich dadurch, dass die Larven das Volumen der organischen Massen um 42 bis 56 % der Trockensubstanz reduzieren können und die darin enthaltenen Nährstoffe in bis zu mehr als 42 % körpereigene Protein- und 35 % Fettmasse umwandeln (Sheppard u. a., 1994; Gobbi u. a., 2013). Neuere Untersuchungen an einer Pilotanlage konnten

sogar aufzeigen, dass in grossangelegten Versuchen die Reduktionsrate und das zunehmende Larvengewicht besser abschnitten, als in vorherigen Laboruntersuchungen ermittelt wurden. Dabei konnte eine Abfallreduktion von 65 % bis 75 % gefördert werden und das Endlarvengewicht lag mit 195-220 mg um 25 % höher als die höchsten Laborergebnisse (157 mg) (Diener u. a., 2011). Dies bietet eine Alternative zu Soja- oder Fischmehl, welche heutzutage einen wichtigen Bestandteil von Tierfutter ausmachen. Ihr Potential zeigt sich ebenfalls in der Verwertung von tierischen Ausscheidungen in der Tierproduktion (Sheppard u. a., 1994).

### 3.2.1 Produktionssysteme

Die Massenhaltung der Schwarzen Soldatenfliege kann auf verschiedenen Stufen betrieben werden. Sie eignet sich für Kleinbauern mit niedrigem Einkommen, sowie für Grossprojekte mit einem Output von mehreren Tonnen Larvenmasse pro Jahr. Die weniger technisch- und arbeitsschrittintensive Variante basiert auf einem Selbsternteverfahren. Dabei wird die Migrationseigenschaft der Larven im Vorpuppenstadium genutzt, welche die Nahrungsquelle verlassen und bei der Suche nach einem trockenen Platz in Erntegefässe Fallen. Eine schematische Darstellung von so einem System ist in Abbildung 7 ersichtlich. Diese Konstruktion erleichtert den Bauern viel Arbeitszeit, da die Larvernte quasi von alleine geschieht und gleichzeitig anwendbar, in der Hühner- oder Schweinehaltung ist. Sie ist jedoch für grössere Anlagen, welche kontinuierliche Mengen produzieren sollten, ungeeignet (Dossey u. a., 2016).

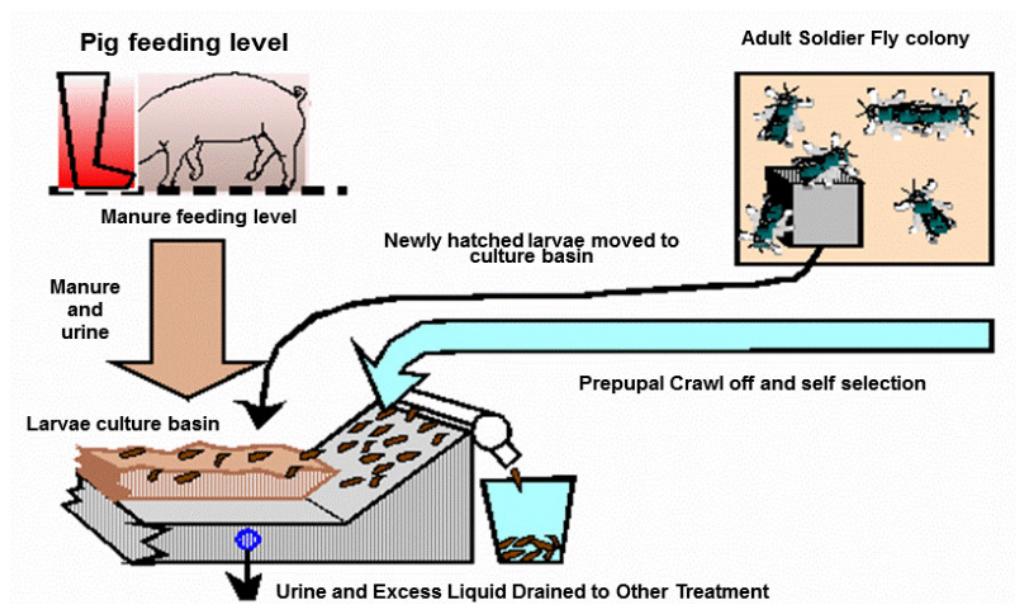


Abbildung 7 Schematische Darstellung einer Anlage mit dem Selbsternteverfahren (Newton u. a., 2005)

Als mögliches Beispiel einer kleinen Variante, welche in Abbildung 8 ersichtlich ist, bietet der Hersteller Prota™Culture, das BioPod™ System, welches auf dem Selbsternteverfahren basiert. Die fertige Einheit, kann direkt zum Kompostieren von Abfällen verwendet werden und dient zugleich als Zuchtbehälter für die Larven der Schwarzen Soldatenfliege. Diese kommt in Gebieten zum Einsatz, wo die Schwarze Soldatenfliege bereits in freier Wildbahn anzutreffen ist (Prota™Culture, 2011).

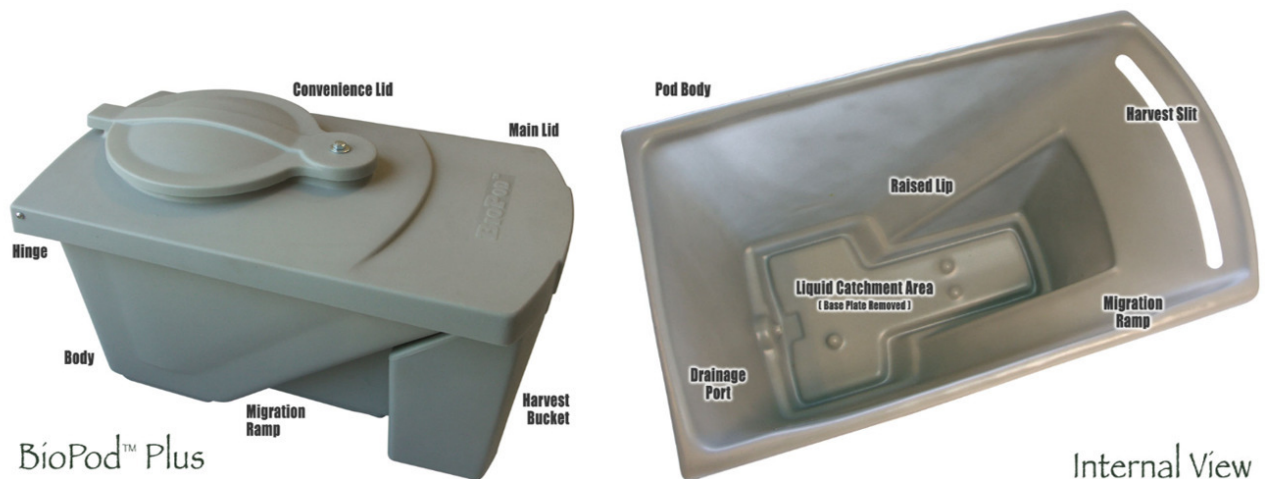


Abbildung 8 Kleine Kompostiereinheit BioPod™, welches als Selbsternteverfahren fungiert (Prota™Culture, 2011)

In grossen Produktionsstätten laufen diese Prozesse viel kontrollierter und mit räumlich getrennten Arbeitsabläufen ab. Der Aufbau einer Anlage mit den gesamten Arbeitsschritten wird in dieser Arbeit nicht beschrieben und kann in der Publikation „Black Soldier Fly Biowaste Processing, A step-by-step Guide“, nachgeschlagen werden, welche von der Eawag –Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2017 herausgegeben wurde. Die Arbeitsabläufe können folgendermassen in 6 Hauptarbeitsschritte eingeteilt werden (Dortmans u. a., 2017):

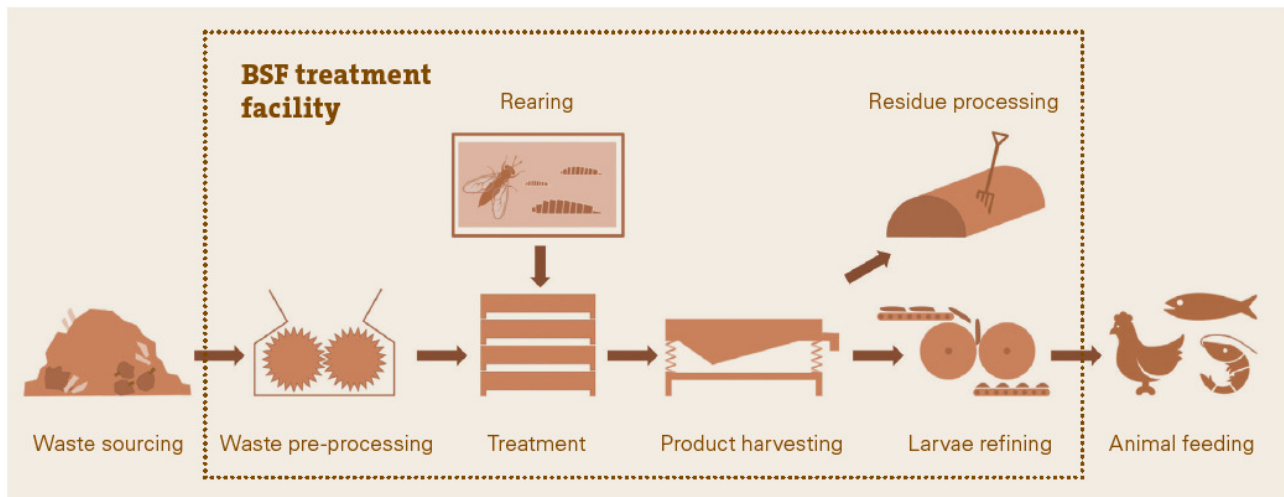


Abbildung 9 Schematische Darstellung eines Mastbetriebs für Larven der Schwarzen Soldatenfliege (Dortmans u. a., 2017)

### Aufbereitung des organischen Abfalls (Waste pre-processing)

- Zerkleinerung der Ausgangsstoffe zu einem Nahrungsbrei (Abbildung 10)
- Erstellung einer homogenen Mischung aus verschiedenen Ausgangsstoffen
- Hygienisierung und Überprüfung auf Schadstoffe
- Einstellung der richtigen Feuchte



Abbildung 10 Homogenisierter Nahrungsbrei (Dortmans u. a., 2017)

### Eierproduktion und Larvenaufzucht (Rearing)

- Unterhalt der Käfige, welche den adulten Tieren zur Fortpflanzung und Eiablage dienen
- Ernte der Eier, die auf einem Trägermaterial abgelegt wurden (Abbildung 11)
- Aufzucht der Junglarven bis zum fünften Lebenstag
- Käfige mit neugeschlüpften adulten Tieren befüllen für eine kontinuierliche Eierproduktion

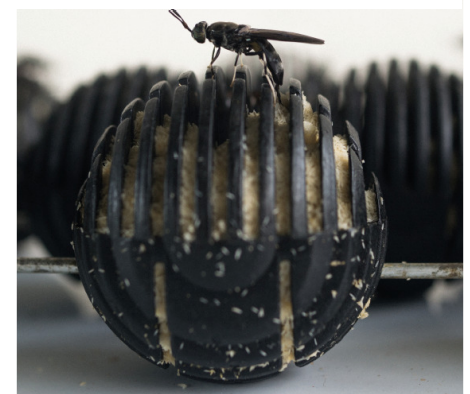


Abbildung 11 Mit Eiern befüllter Träger (Dortmans u. a., 2017)

**Larvenmast (Treatment)**

- 5 Tage alte Larven in grössere Container überführen
- Tägliche Futtergabe mit aufbereitetem Futterbrei bis zum Heranwachsen der Larven auf Erntegrösse (Abbildung 12)



Abbildung 12 Heranwachsende Larven (Dortmans u. a., 2017)

**Larvenernte (Product harvesting)**

- Larvenernte manuell oder mechanisch vor Erreichen des Vorpuppenstadiums (Abbildung 13)
- Reinigung der Container

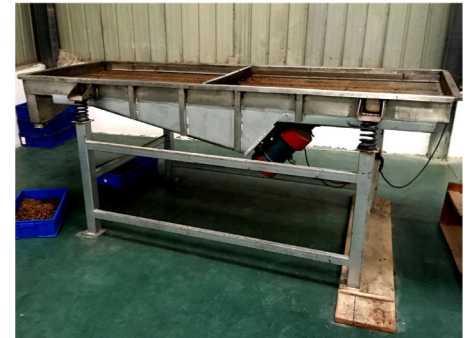


Abbildung 13 Mechanisches Sieb für die Larvenernte (Dortmans u. a., 2017)

**Restsubstratverwertung (Residue processing)**

- Restsubstrat kann in Biogasanlage weiterverwendet werden

**Larvenverarbeitung (Larvae refining)**

- Töten der Larven mittels Einfrieren oder Kochen
- Trocknung der Larven
- Getrocknete Larven für die späteren Futteransprüche mit anderen Futterkomponenten mischen und Zermahlen (Abbildung 14) oder Proteine von Fetten trennen



Abbildung 14 Pelletpresse für Verarbeitung von Larvenmehl (Dortmans u. a., 2017)

Es ist möglich bei einer intensiven Massenhaltung eine Besatzdichte von bis zu 14 kg Larvenmasse pro Quadratmeter zu züchten. Das würde bedeuten, dass bei einer Fütterung von 2 Pfund (0.907 kg) Trockenmasse Schweinemist pro Quadratfuss (0.092 m<sup>2</sup>), bei einer Verwertung von mindestens 25 % des Futtersubstrats, bei einer Anlagengrösse von 400'000 Quadratfuss (37'161.2 m<sup>2</sup>), wäre eine Erntemenge von 3'750 Tonnen Larvenmehltrockenmasse pro Jahr möglich. Für die bestmögliche Verwendung von so grossen Mengen, wird empfohlen, das gewonnene Larvenmehl in Proteine, Fette (insbesondere Laurinsäure), Chitin und andere Nebenprodukte für die Weiterverarbeitung aufzutrennen (Burtle u. a., 2012).



### 3.2.2 Ansprüche

#### Temperatur

Da die Schwarze Soldatenfliege als Lebensraum wärmere Gebiete bevorzugt, spielt für die Zucht die Temperatur eine sehr wichtige Rolle. Sheppard gab 1984 einen Temperaturbereich von 27.5 bis 37.5 °C an. Bei einer Temperatur von 32 °C wurden die meisten Ei-Gelege von den Fliegen gelegt (Sheppard u. a., 1994). Was die Larvenzucht anbelangt, so wurden eine Larvenentwicklung zwischen 12-36 °C beobachtet (Sheppard u. a., 1994; Tomberlin u. a., 2009). Bei tiefen Temperaturen verlängert sich die Entwicklungszeit der Larven (Holmes u. a., 2016). Am präzisesten wird das Temperaturoptimum in einer Studie von Tomberlin et al. 2009 angegeben. Laut Tomberlin konnte man bereits bei einer Schwankung von 3 °C signifikante Unterschiede bei der Überlebensrate der Larven nachweisen. Dabei wurde der Einfluss von drei verschiedenen Temperaturen (27, 30 und 36 °C) auf die Entwicklung der Schwarzen Soldatenfliege untersucht. Es konnte aufgezeigt werden, dass Larven welche 4 bis 6 Tage alt waren bis zum Erreichen des Erwachsenenstadiums bei der Temperatur von 27 °C und 30 °C eine Überlebensrate von 83.2-91.8 % und 74.2-96.7 % aufwiesen. Bei 36 °C lag jedoch die Überlebensrate nur noch bei 0.1 %. Durchschnittlich benötigten die Larven bei einer Temperatur von 27 °C 4 Tage (11 %) länger für die Entwicklung als bei 30 °C. Tiere, welche bei 27 °C gehalten wurden, waren zusätzlich im Schnitt 5 % schwerer und lebten 10 % länger als diejenigen bei 30 °C. Bei beiden Temperaturen 27 °C und 30 °C waren die weiblichen Tiere 17-19 % schwerer als die männlichen. Sie benötigten jedoch benötigten 0.6-0.8 Tage (3.0-4.3 %) länger für den Abschluss des Larvenstadiums. Bei beiden Temperaturen lebten die weiblichen Tiere im Schnitt 3.5 Tage weniger lang als die Männchen. Dies konnte ebenfalls in einer neueren Studie von Harnden (2016) aufgezeigt werden. Bei einer Temperatur von 27.6 und 32.2 °C benötigten die Larven für die Entwicklung im Schnitt 8.3 % mehr Gradstunden, als diejenige welche bei 24.9 °C gehalten wurden und waren zudem 30 % schwerer (Harnden & Tomberlin, 2016).

Daraus resultierte ein Temperaturoptimum von 27 °C, welches sich auf die Effizienz und Lebensdauer des Larven-, Vorpuppen-, Puppen- und Erwachsenenstadiums bezieht. Es wird zusätzlich vermutet, dass die Überlebens- und Wachstumsrate vom Metabolismus abhängig ist, der durch die Temperatur beeinflusst und bei Temperaturen über 30 °C wiederum gehemmt wird (Tomberlin u. a., 2009).

#### Luftfeuchte

Zu zwei der wichtigsten Faktoren, welche Insekten in ihrem Lebensraum beeinflussen, zählen die Luftfeuchte und die Temperatur. Eine niedrige rLF kann auf das Ei- und Larven-Stadium einen deutlichen Einfluss nehmen. So wird beschrieben, dass bei niedriger relativen Luftfeuchte der Wasserverlust über die schützende Membrane welche das Ei und Puppe umschliesst, sich auf die Entwicklung von Insekten schädlich auswirken kann (Wigglesworth, 1984).



Untersuchungen mit Eiern, Puppen und adulten Tieren der Schwarzen Soldatenfliege konnten ähnliches belegen. So hat die Luftfeuchte einen signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate der Eier, Schlupfzeitpunkt der Puppen und Lebensdauer der Adulten. Diese wurden bei einer Temperatur von 27 °C und den Luftfeuchten 25 %, 40 %, 50 %, 60 % und 70 % untersucht. Bei Eiern, welche bei einer Luftfeuchte von 25 % und 70 % gehalten wurden, konnte ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Eier bei 25 % rLF, brauchten 1.5-2.5 Tage länger bis zum Schlüpfen als bei einer Luftfeuchte von 70 %. Allgemein konnte beobachtet werden, dass höhere Schlupfraten bei einer Luftfeuchte von 50 %, 60 % und 70 % vorlagen, wobei sich 60 % von 70 % kaum unterschied. Bei der Überlebensrate der Puppen zeigte sich ebenfalls, dass bei einer rLF von 25 % und rLF 40 %, 16 % und 59 % der Puppen überlebten. Zudem betrug die Lebensdauer der Adulten bei 70 % Luftfeuchte 2-3 Tage mehr als bei tieferer Luftfeuchte. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Erfolg beim Schlüpfen der Eier und Puppen, bei steigender Luftfeuchte zunimmt, während die Entwicklungsdauer länger wird. Ein Einfluss der relativen Luftfeuchte auf die Eiablage und Paarung, konnte jedoch nicht festgestellt werden (Holmes u. a., 2012).

In einer neueren Publikation werden von Dossey (2016), für die Eieraufzucht eine rLF und Temperatur von 60-70 % bei 27 °C empfohlen (Dossey u. a., 2016; Tomberlin u. a., 2009).

## **Licht und Fortpflanzung**

Die Paarung der Schwarzen Soldatenfliege erfolgt zu 69 % ab dem 2 Tage nach dem Schlüpfen. Bereits ab dem 4. Tagen nach dem Schlüpfen, sind 70 % der Eiablage abgeschlossen. Da die Partnersuche in der Luft erfolgt, muss genügend Platz für die adulten Tiere zum Fliegen mit einberechnet werden. Daher sollte eine Käfiggrösse von mindestens 1 m<sup>3</sup>, nicht unterschritten werden (Dossey u. a., 2016). Licht spielt für die Fortpflanzung der Schwarze Soldatenfliege eine zentrale Rolle. Das Tageslicht dient dabei der Partnersuche und der Eiablage, welche häufiger an Orten mit stabilen Lichtverhältnissen geschieht, anstatt bei halbschattigen Standorten (Sripontan u. a., 2017). Die Larven hingegen flüchten vor Licht. Wenn sie am Licht ausgesetzt werden, suchen sie immer die dunkelste Stelle auf oder graben sich tief in das Substrat ein (Dortmans u. a., 2017). Untersuchungen, die sich mit der Lichtwahrnehmung von Insekten beschäftigten, haben ergeben, dass Insekten Licht im roten- und infraroten Bereich nicht wahrnehmen können. Das heisst, langwelliges Licht oberhalb von 700 nm sollte für sie nicht von Belangen sein (Briscoe & Chittka, 2001). Tomberlin (2002) konnten in einer Studie aufzeigen, dass das Paarungsverhalten der Schwarzen Soldatenfliege stark von dem Tageszeitpunkt und Lichtintensität abhängig ist, während die Eiablage vom Tageszeitpunkt, Temperatur und Luftfeuchte beeinflusst wird (Tomberlin & Sheppard, 2002). Früh in der Studie wurde bereits die Vermutung geäussert, dass Lichtwellen im UV Bereich, welche ausserhalb des menschlichen Sehvermögens liegen, ebenso wichtig für das Paarungsverhalten sind. Dabei konnte aufgezeigt werden, dass vor allem die Lichtintensität und der Tageszeitpunkt einen signifikanten Einfluss auf die Paarung haben. Für den Versuch wurden Lampen mit einem Lichtspektrum von

400-700 nm verwendet. Messungen ergaben, dass bei einer Lichtintensität von  $63 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , keine Fortpflanzung stattfindet während bei einer Lichtintensität von  $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , diese zu 75 % geschieht. Zusätzlich lag die Anzahl der beobachteten Paarungen um 50 % höher bei einer Lichtintensität von über  $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , als diejenigen darunter (Tomberlin & Sheppard, 2002). Die Ergebnisse von Zhang (2010) liessen jedoch vermuten, dass nicht die Lichtintensität von zentraler Bedeutung ist. Mit seiner Studie, welche neben des natürlichen Sonnenlichts auch andere Lichtquellen untersuchte, ergab, dass bei einer Sonnenlichtintensität von  $110 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 85 % der adulten Tiere sich paarten, während der Wert sich bei über  $110 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , stark verschlechterte. Der Versuch wurde mit einer Halogenlampe durchgeführt, welche ein Spektrum von 350-2500 nm und eine Intensität von  $135 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  aufwies, durchgeführt. Eine weitere Lichtquelle, die untersucht wurden, war eine UV-Lampe mit einem Spektrum von 350-450 nm und der Intensität von  $160 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Als Vergleichsparameter galt das natürliche Sonnenlicht. Das Ergebnis des Versuchs ergab, dass die Halogenlampe 39 % schlechter abschnitt als das natürliche Sonnenlicht. Die UV-Lampe, welche eine Wellenlänge von 350-450 nm aufwies, konnte keinen Erfolg verzeichnen. Zudem hatte keine der Lichtquellen einen Einfluss auf die Entwicklung des Larven- und Puppenstadiums (Zhang u. a., 2010). Auffällig ist, dass eben mit hohen Lichtintensitäten somit keine Erfolge erzielt wurden. Oonincx untersuchte 2016 die verschiedenen Lichtrezeptoren in den Augen der Schwarzen Soldatenfliege und kam zur Erkenntnis, dass diese optisch besonders im Wellenlängen-Bereich von 332 nm, 351 nm und 535 nm reagieren. Somit ist erwiesen, dass die Schwarze Soldatenfliege über ein trichromatisches Sehen verfügt und demzufolge ultraviolette, blaues und grünes Licht wahrnehmen kann. Während dem Versuch konnten mit speziell auf die Wellenlänge abgestimmten LED-Lampen, grosse Erfolge bei der Eierfertilität verzeichnet werden als zum Beispiel mit Fluoreszenz-Leuchtstoffröhren. Die Schlussfolgerung war, dass nicht zentral die Lichtintensität, sondern das Lichtspektrum für die Fortpflanzung eine wichtigere Rolle spielt und erst an zweiter Stelle die Lichtintensität folgt (Oonincx u. a., 2016). Das würde auch erklären, wieso die Eiablage eher in den Morgenstunden erfolgt (Dortmans u. a., 2017; Zhang u. a., 2010). Eine Graphik unter Abbildung 15 verdeutlicht die Vermutung, dass die Lichtintensität lediglich eine zweite Rolle spielt bei der Paarung.

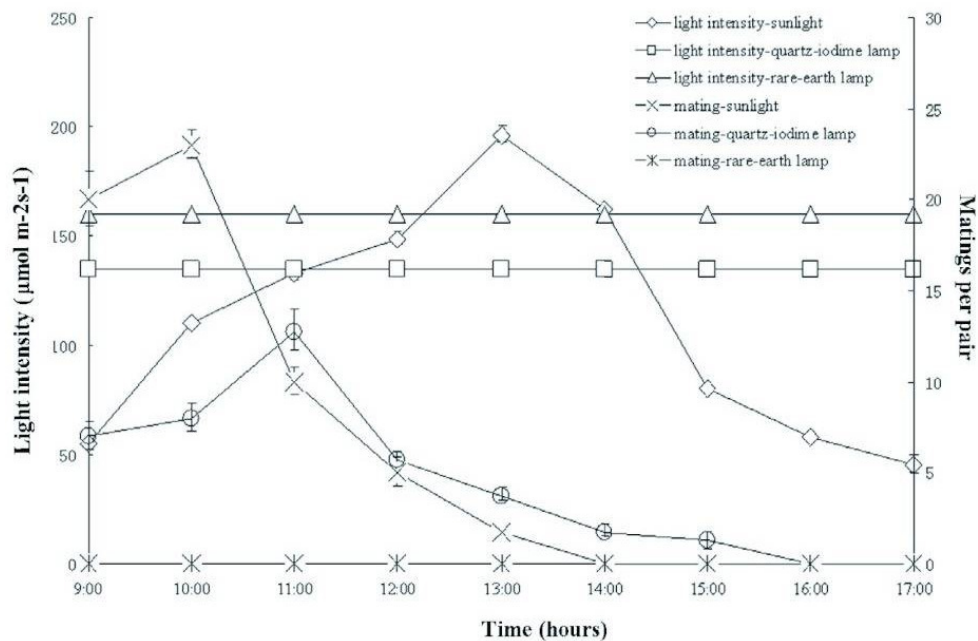


Abbildung 15 Paarungsverhalten der Schwarzen Soldatenfliege, unter verschiedenen Lichtquellen (Zhang u. a., 2010)

Tomberlin (2002) konnte in einem Versuch belegen, dass bei einer Luftfeuchte von 60 %, 80 % der Ei-Gelege gelegt werden (Tomberlin & Sheppard, 2002). 2 Tage nach der Paarung ist die Entwicklung der Eier abgeschlossen, welche dann abgelegt werden. Der Ort für die Eiablage wird von den adulten Tieren ausgesucht. Dabei konnte aufgezeigt werden, dass vor allem Plätze gewählt werden, an denen bereits bestehende Ei-Gelege oder Larven der Schwarzen Soldatenfliege vorhanden sind. Individuen, welche 3 Tage nach der Eiablage untersucht wurden, wiesen keine Fettreserven und in Entwicklung befindende Eier auf (Tomberlin & Sheppard, 2002).

## Futter

Die Art des Futters ist zentral für die Larven der Schwarzen Soldatenfliege, da adulte Tiere ausser Flüssigkeiten kein Futter mehr aufnehmen. Die Flüssigkeit kann jedoch, wie bereits in Kapitel 3.1.3 Lebenszyklus beschrieben, eine Zuckerlösung beinhalten, was sich positiv auf die Lebenserwartung der adulten Tiere auswirkt (Oonincx u. a., 2016). Es hat sich gezeigt, dass eine Vielzahl von Abfällen wie Mist, Lebensmittelabfälle, Nebenprodukte der Nahrungsmittelindustrie und Landwirtschaft, faulende Früchte und Gemüse, sich als Futtermittel eignen. Zentral ist, dass das Futter organischen Ursprungs ist. Zudem sollte das Substrat hohen Eiweissgehalt und rasch verfügbare Kohlenhydrate aufweisen, was sich günstig auf das Larvenwachstum auswirkt (Dortmans u. a., 2017). Das Futter sollte vor der Mast so aufbereitet werden, dass die Futterpartikel so fein wie möglich sind, um die Nahrungsaufnahme der Larven zu erleichtern. Es wird zusätzlich von Dortmans (2017) empfohlen Futter zu verwenden, welches bereits eine mikrobielle Aktivität aufweist (Dortmans u. a., 2017). Die Art und Zusammensetzung des Futters hat einen unterschiedlichen Einfluss auf die Wachstums-

und Mortalitätsrate der Larven. Daher ist es wichtig in der Larvenmast dieses zu berücksichtigen. Beispiele für den Einfluss des Futters sind im unteren Kapitel „3.2.3 Larven-Mast und 3.2.4 Nährstoffgehalt der Larven“ ersichtlich. In der Tabelle 1 sind Abfallfuttermitteln aufgelistet, welche in der Publikation von Dortmans (2017) sich für die Larvenproduktion eignen und in der Pilotanlage in Indonesien erfolgreich getestet wurden. Einige der aufgelisteten Futtermittel müsste man zunächst behandeln oder wegen Mikroverunreinigungen würden diese gänzlich wegfallen. Schwieriger zeichnet sich jedoch die Verwendung der unten genannten Futtermittel in Europa. Da Insekten nach EU Recht als Nutztiere zu betrachten sind, dürfen diese nur mit zulässigen Futtermitteln als Substrat versorgt werden. Daher fallen Nahrungsquellen, wie Exkrememente und Speiseabfälle aus. Diese Thematik wird aber zurzeit auf EU Ebene im zuständigen Ausschuss diskutiert (Doppelreiter, 2016).

Tabelle 1 Geeignete Abfallstoffe für die Produktion von BSFL (Dortmans u. a., 2017)

Städtischer Abfall	Landwirtschaftliche Industrieabfälle	Exkrememente
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Städtische Abfälle</li> <li>• Abfälle aus der Gastronomie</li> <li>• Abfälle aus Lebensmittelläden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfälle aus der Lebensmittelindustrie</li> <li>• Schlachtabfälle</li> <li>• Ölkuchen und Biertreber</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hühnermist</li> <li>• Schweinemist</li> <li>• Menschliche Exkrememente</li> <li>• Klärschlamm</li> </ul>

### 3.2.3 Larven-Mast

Es wird empfohlen bei der Larvenmast Futtermischungen zu verwenden. Als Beispiel wird in einer früheren Untersuchung von Diener (2011) ein Verhältnis von 50:50 Mist aus der Tierhaltung und Lebensmittelabfällen genannt. Dieses soll anscheinend in einem optimalen Verhältnis zum Larvenwachstum und Abfallverwertung stehen (Diener u. a., 2011). Um eine gute Nahrungsaufnahme zu ermöglichen, sollte die Futterschicht nicht mehr als 5 cm überschreiten, da ansonsten das Substrat ungenügend von den Larven durchwühlt wird (Dortmans u. a., 2017). Erfolge konnten auch in einem Fütterungsversuch mit 100 % Schweinemist verzeichnet werden. Dabei konnte eine Reduktion der Mistmenge durch die Larven um etwa 50 % erreicht werden (Oliveira u. a., 2015). Daraus folgt, dass 45'000 Larven innerhalb von 14 Tagen, 24 kg Mist verwerten können (Oliveira u. a., 2015). Ein Versuch mit Kuhmist konnte zudem aufzeigen, dass der Nährstoffgehalt des Mists beim Phosphor um 67 % und Stickstoff 43 % reduziert wird. Somit können die Larven der Schwarzen Soldatenfliege auch hier einen wesentlichen Beitrag in der Abfallrecyklierung leisten, da der wiedergewonnene Phosphor und Stickstoff den Weg im Futter zurück in die Mast findet (Oliveira u. a., 2015). Die Larven eignen sich nicht nur als Futtermittel für die Schweine und Hühnermast (Makkar u. a., 2014; Newton u. a., 2005; Schiavone u. a., 2017; Veldkamp u. a., 2012), sondern sind ebenfalls geeignet als Fischfutter in der Fischmast (Henry u. a., 2015). Dies haben diverse Versuche ebenfalls aufgezeigt (Burtle u. a., 2012; Henry u. a., 2015; St. Hilaire, 2009).

## Attraktivität des Futters zur Eiablage

Die richtige Wahl des Futters ist ebenso entscheidend, wie die Schaffung der richtigen Umweltbedingungen. Dies ist vor allem wichtig für den Prozess der Eier-Gewinnung. Damit die Weibchen ihre Eier nicht unkontrolliert im Käfig legen, muss eine Lockbox im Käfig angebracht werden, welche mit Futter versehen ist und die Weibchen dazu verleitet Eier an einer speziellen Vorrichtung abzulegen (Dossey u. a., 2016; Tomberlin & Sheppard, 2002). Dass nicht ein beliebiges Futter als Lockstoff verwendet werden kann, verdeutlichen die folgenden Resultate von Rana (2015) (Rana u. a., 2015). Bei einem Fütterungsversuch in Bangladesch wurden die Larven auf natürliche Weise gewonnen. Becken mit drei verschiedenen Nahrungsquellen wurden so aufgebaut, dass die in der Natur vorkommende Schwarze Soldatenfliege dort ihre Eier ablegen kann, genannt „egg-trapping“, ohne dass die gewöhnliche Stubenfliege *Musca domestica* an die Nahrungsquelle kommt. Die drei verschiedenen Futtermedien, welche hierbei für das „egg-trapping“ verwendet wurden, waren Küchenabfällen (Gemüse), Senfpresskuchen aus der Öl-Gewinnung und Weizen. Darüber wurden Vorrichtungen mit Spalten aufgehängt, um den Fliegen eine Eiablagefläche zu bieten. Der Erfolg der Lockwirkung der Futtersubstrate, wurde anhand der Anzahl geernteten Larven gemessen. Für die Ernte wurde die Eigenschaft der Larven genutzt im Vorpuppenstadium die Nahrungsquelle zu verlassen um sich an einem trockenen Ort zu verpuppen. So wurden stets die emigrierenden Larven im Vorpuppenstadium mittels Selbsternteverfahren passiv geerntet. Die höchste Menge an Larven konnte beim rottenden Weizen mit  $185.98 \pm 57.41$  g Larven pro kg Weizen geerntet werden. Danach folgten die Küchenabfälle mit  $133.69 \pm 24.76$  g/kg und der Senfpresskuchen mit  $48.38 \pm 14.04$  g/kg (Rana u. a., 2015). Eine weitere Studie beschäftigte sich ebenfalls mit dem sogenannten „egg-trapping“ (Sripontan u. a., 2017). Der Versuch wurde mit 5 jeweiligen Medien durchgeführt, Fruchtabfällen (Äpfel, Wachsäpfel, Ananas, Wassermelone, Melonen), Küchenabfällen aus der Campuskantine (Reis-, Fleisch- und Gemüsereste), Hühner-, Schweine- und Kuhmist. In einem zweiten Durchlauf, wurden rein voneinander getrennte Fruchtabfälle, von 3 Früchten Ananas, Papaya und Bananen angesetzt. Beim ersten Durchlauf zeigte sich, dass die Schwarze Soldatenfliege für die Eiablage signifikant die Fruchtabfälle gegenüber allen anderen Futtermedien bevorzugte. Hingegen beim zweiten Durchlauf zeigten die 3 einzelnen Früchte untereinander keine Signifikanz bezüglich der Lockwirkung. Dies lässt darauf schliessen, dass die Schwarze Soldatenfliege für die Eiablage den Faulgeruch von Früchten gegenüber den anderen Futterquellen bevorzugt. (Sripontan u. a., 2017) Es wurde jedoch die Vermutung geäußert, dass die Schwarze Soldatenfliege die Nahrungsquelle bevorzugt, welche natürlicherweise in ihrem Umfeld am häufigsten vorkommt. Zudem werden Futterquellen zur Eiablage bevorzugt, welche bereits Larven und Ei-Gelege aufweisen (Sripontan u. a., 2017). Diese wurde aufgestellt, da sich im nahen Umfeld des Versuches keine Tierfarmen befanden. Umgekehrt lässt sich das gleiche beim Versuchen von Sheppard (1984) behaupten, da vor allem die Hauptnahrungsquellen in der Umgebung Hühnermist war.

## Feuchte des Futters

Bei einer Studie, welche sich mit der Bekämpfung der Hausfliege *Musca domestica* durch die Schwarze Soldatenfliege als Nahrungsmittelkonkurrent in Hühnermist beschäftigte, konnte ermittelt werden, dass sich die Schwarze Soldatenfliege auf Medien entwickeln kann, welche eine Feuchte von 30-70 % aufweisen. Die Studie kam zum Schluss, dass eine Substratfeuchte von 40-60 % geeignet ist und eine Substratfeuchte von 70 % sich nicht eignet (Fatchurochim u. a., 1989). Dies wird jedoch in einer neuen Studie bestritten (Cammack & Tomberlin, 2017). Die Studie von Cammack (2017) untersuchte die Überlebensrate, Larvenentwicklung auf unterschiedlich Substraten mit 40 %, 55 % und 70 % Substratfeuchte. Das Resultat zeigte, dass die Larven bei 70 % Substratfeuchte am schwersten waren und am schnellsten das Larvenstadium abschlossen, im Gegensatz zu denen mit 55 % Substratfeuchte. Die höchste Überlebensrate und schnellste Entwicklung konnte auf einem Substrat mit 21 % Protein-, 21 % Kohlenhydratgehalt Zusammensetzung und 70 % Feuchtegehalt ermittelt werden (Cammack & Tomberlin, 2017).

## Einfluss des Futters

Gobbi (2013) untersuchte in seiner Studie die Auswirkung des Futters auf die Larvenentwicklung, Grösse und Fruchtbarkeit von adulten Tieren. Dabei wurden drei verschiedene Futtermischungen getestet: H (100 % Hühnerfutter), M+H (50 % Fleischmehl / 50 % Hühnerfutter) und M (100 % Fleischmehl) (Gobbi u. a., 2013). Im Versuch mit den drei verschiedenen Futtersorten konnte die höchste Überlebensrate bei der Fütterung mit Hühnerfutter verzeichnet werden. Ebenso lag die Futteraufnahme am höchsten beim Hühnerfutter (Gobbi u. a., 2013). Die Abbildung 16 zeigt die Überlebensrate und Futterverwertung des Versuches von Gobbi,(2013).

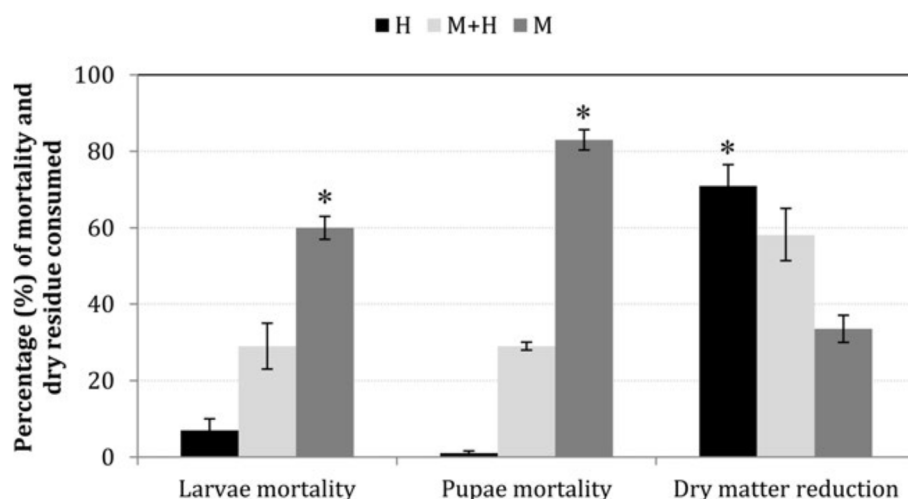


Abbildung 16 Mortalitätsrate im Fütterungsversuch mit Hühnerfutter (H), Fleischmehl (M) und einem Mix von Hühnerfutter mit Fleischmehl (M+H) (Gobbi u. a., 2013)



Wie aus der oberen Abbildung 16 entnommen werden kann, hat die Art und Qualität des Futters einen grossen Einfluss auf das Überleben der Larven. Zusätzlich bestimmt auch das Futter die Entwicklungsdauer des Larven-, und des Puppenstadiums was in Abbildung 17 ersichtlich ist. Ebenfalls konnte der Versuch mit den drei verschiedenen Futtermedien, (Hühnerfutter (H), Fleischmehl (M) und Hühnerfutter, Fleischmehl-Mix (M+H)) aufzeigen, dass das Futter einen Einfluss auf die Grösse der adulten Tiere hat.

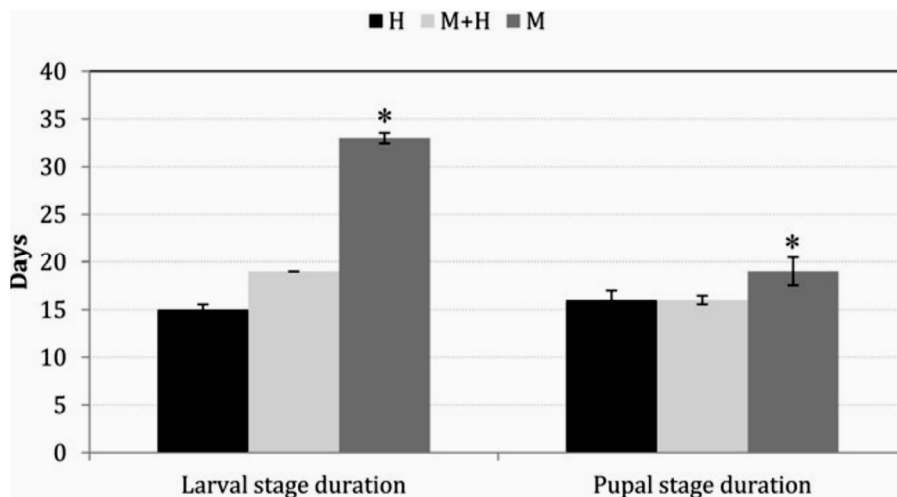


Abbildung 17 Einfluss verschiedener Futter, Hühnerfutter (H), Fleischmehl (M) und Mix Hühnerfutter mit Fleischmehl (M+H) auf die Entwicklungsdauer des Larven- und Puppenstadiums (Gobbi u. a., 2013)

Unter optimalen Futterbedingungen können die Larven bereits nach zwei Wochen das Puppenstadium erreichen, hingegen kann Mangel an essentiellen Nährstoffen das Larvenstadium bis zur Verpuppung um bis zu 4 Monate hinauszögern (Gobbi u. a., 2013).

Wie aus der Abbildung 16 entnommen werden kann, lag die Mortalität im Larvenstadium beim Hühnerfutter am tiefsten. Trotzdem ergab die Fütterung mit dem Hühnerfutter/Fleischmehl Mix die grössten adulten Tiere, wie in Abbildung 18 ersichtlich ist.

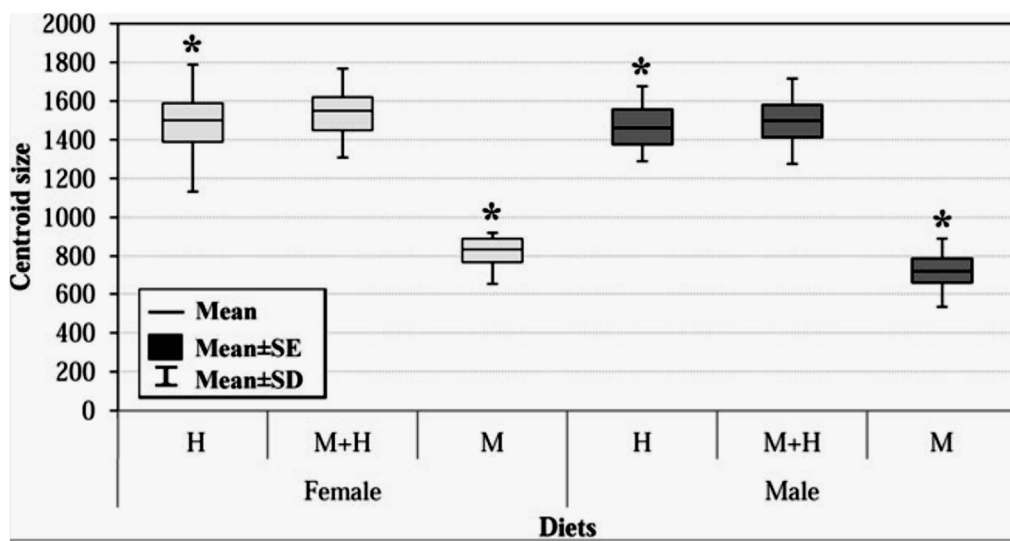


Abbildung 18 Grösse von adulten Tieren im Futterversuch mit drei verschiedenen Futtern (H=Hühnerfutter, M+H=Fleischmehl und Hühnerfutter, M=Fleischmehl)(Gobbi u. a., 2013)

Dabei wurde die Vermutung aufgestellt, dass eine Vielfalt an Futterkomponenten den Larven eine grössere Anzahl an essentiellen Nährstoffen liefert, welche sie für die Entwicklung benötigen, was dann zu grösseren adulten Tieren führt, welche auch grössere Eigelege hervorbringen (Gobbi u. a., 2013). Wie Cammack (2017) beschrieb, ist für die Entwicklung der Larven die Zusammensetzung des Futters von grosser Bedeutung. Somit konnte mit 21 % Protein- und 21 % Kohlenhydratgehalt, des Futters, die grössten und längsten Larven herangezogen werden.

Unterschiedliche Studien, welche sich mit der Nahrungsaufnahme der Larven auseinandersetzen ergaben folgendes: Bei einem Fütterungsversuch konnte Oliveira (2015) innerhalb von 5 Wochen, eine höhere Gewichtszunahme bei der Fütterung mit Kuhmist als mit Lebensmittelabfällen feststellen (Oliveira u. a., 2015). Eine andere Studie von Nguyen (2015), die als Futtermittel Hühnerfutter, Schweineleber, Schweinemist, Küchenabfälle, Frucht- und Gemüseabfälle und Fischabfälle verwendete, ergab die schwersten und grössten Larven bei der Fütterung mit Küchenabfällen (Nguyen u. a., 2015). Das bessere Wachstum der Larven, welche mit Kuhmist gefüttert wurden, könnte daran erklärt werden, dass Kuhmist eine weitaus grössere mikrobielle Aktivität aufweist. Die Abbildung 19 zeigt das durchschnittliche Larvengewicht in Abhängigkeit von Zeit und Art des Futters im Versuch von Oliveira (2015), während die Abbildung 20 das Larvengewicht von je 3 Larven zeigt, aus dem Fütterungsversuch von Nguyen (2015) zeigt.

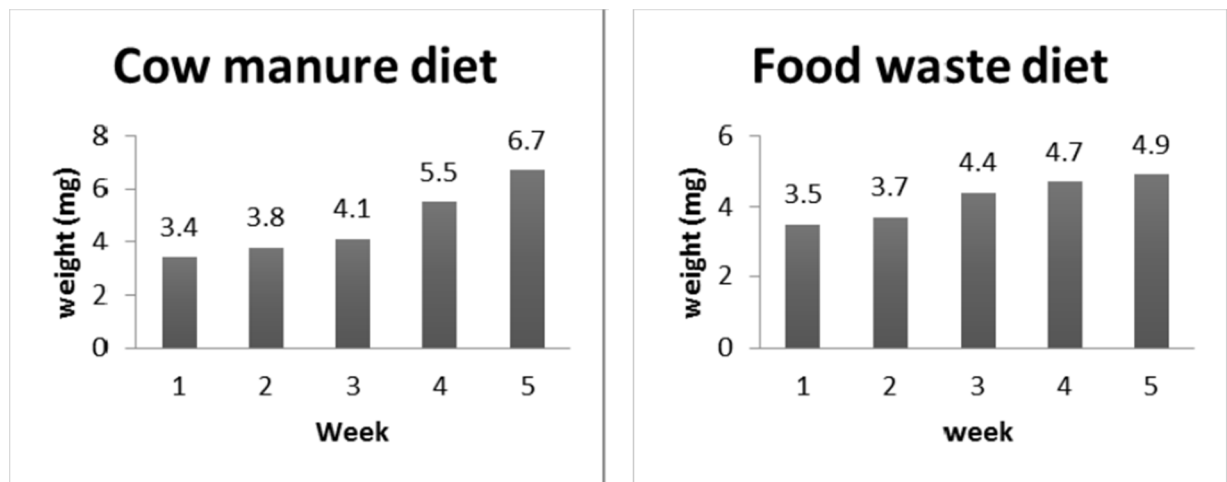


Abbildung 19 Gewichtszunahme in Wochen mit Futter „Kuhmist“ und „Lebensmittelabfällen“ (Oliveira u. a., 2015)

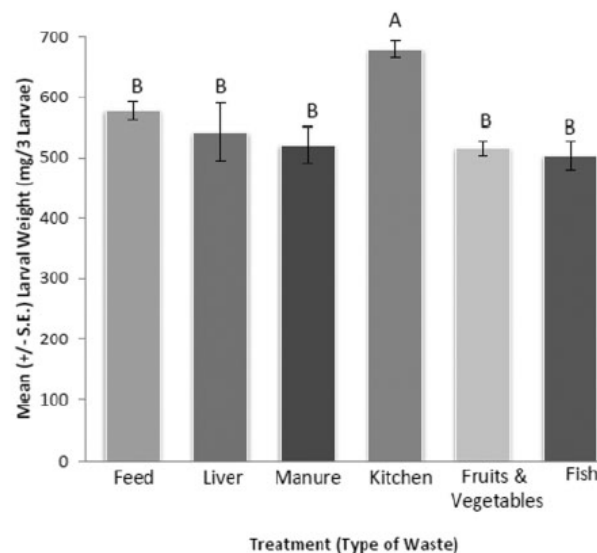


Abbildung 20 Gewichtszunahme der Larven unter Fütterung von verschiedenen Futtersubstraten (Nguyen u. a., 2015)

### 3.2.4 Nährstoffgehalt der Larven

Für die Tiermast ist entscheidend, welche Zusammensetzung die Futtermittel aufweisen. Die Fütterung mit Insekten bringt viele Vorteile mit sich. Neben Proteinen und Fetten liefert die Schwarze Soldatenfliege Mineralien mit einem hohen Ca:P Verhältnis und eignet sich daher als Futter für viele Nutztiere ausser Wiederkäuer. Der Nährstoffgehalt ist jedoch abhängig vom Futter, wie ein Review zeigt. Das Ergebnis ist in Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgelistet. Es zeigt welchen Gehalt an Rohprotein, Rohfett und Nährstoffen die Larven aufweisen, in Abhängigkeit des gefütterten Substrates (Barragan-Fonseca u. a., 2017).

Tabelle 2 Rohprotein- (CP) und Rohfett-Gehalt (CF) der BSFL, in Abhängigkeit des Futtersubstrats (Barragan-Fonseca u. a., 2017)

Substrate	%CP <sup>1</sup>	n	%CF <sup>1</sup>	n	References
Cattle manure	42.1	1	34.8; 29.9	2	Li <i>et al.</i> , 2011b; Newton <i>et al.</i> , 1977
Chicken manure	40.1±2.5	3	27.9±8.3	3	Arango Gutiérrez <i>et al.</i> , 2004; Li <i>et al.</i> , 2011b; Sheppard <i>et al.</i> , 1994
Swine manure	43.6; 43.2	2	26.4±7.6	4	Li <i>et al.</i> , 2011b; Manzano-Agugliaro <i>et al.</i> , 2012; Newton <i>et al.</i> , 2005b; St-Hilaire <i>et al.</i> , 2007b;
Palm kernel meal	42.1; 45.8	2	27.5	1	Rachmawati <i>et al.</i> , 2010
Restaurant waste	–		39.2	1	Zheng <i>et al.</i> , 2012
Chicken feed	47.9±7.1	3	14.6±4.4	3	Bosch <i>et al.</i> , 2014; Nguyen <i>et al.</i> , 2015; Oonincx <i>et al.</i> , 2015b;
By-products <sup>2</sup>	41.7±3.8	4	–		Oonincx <i>et al.</i> , 2015b
Liver	62.7	1	25.1	1	Nguyen <i>et al.</i> , 2015 <sup>3</sup>
Fruits and vegetables	38.5	1	6.63	1	Nguyen <i>et al.</i> , 2015 <sup>3</sup>
Fish	57.9	1	34.6	1	Nguyen <i>et al.</i> , 2015 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> All values expressed on a dry matter basis. Values are mean ± standard deviation. n gives the number of replicates. If n=2, individual values are stated, separated by a semicolon.

<sup>2</sup> Beet molasses, potato steam peelings, spent grains and beer yeast, bread and cookie remains.

<sup>3</sup> Original values on a fresh matter basis have been converted to dry matter basis using the water content reported.

*Tabelle 3 Zusammensetzung des Nährstoffgehalts der BSLF, in Abhängigkeit des Futtersubstrats (Barragan-Fonseca u. a., 2017)*

Mineral	Poultry manure <sup>1</sup>	Swine manure	Chicken feed	Unknown
Calcium	5; 7.8	5.36	3.14	2.41
Phosphorus	0.7; 1.5	0.88	1.28	0.91
Magnesium	0.37; 0.39	0.44	0.79	0.45
Sodium	0.15	0.13	0.27	0.23
Potassium	0.6; 0.7	1.16	1.96	1.17
Iron	0.01; 0.14	0.08	0.04	0.02
Zinc	0.01; 0.013	0.03	0.02	0.01
Copper	0.001	0.003	0.002	0.001
Manganese	0.02; 0.06	0.03	0.04	0.02

<sup>1</sup> If n=2, individual values are stated, separated by a semicolon.

Die Larven der Schwarzen Soldatenfliege gefüttert mit landwirtschaftlichen Abfallprodukten weisen einen tiefen Anteil an ungesättigten Fettsäuren auf. Untersuchungen haben jedoch aufgezeigt: Wenn man den Larven 24 h vor der Ernte 22 % Fischabfälle dem Futter beimischt, kann dieser Anteil gesteigert werden. Diese hatten 43 % mehr Fettanteil als die Kontrollgruppe und zusätzlich enthielten diese wegen der fischbasierten Fütterung 3 % Omega-3-Fettsäuren. Das Larvenmehl stellt somit durchaus eine Alternative zu Fischmehl und Fischöl dar (St. -Hilaire, 2009).

### 3.2.5 Problematik und Forschungslücken

Toxine, Insektizide oder Schwermetalle wie Cadmium im Futter, könnten problematisch bei der Larvenmast sein. Es hat sich gezeigt, dass Cadmium von den Larven akkumuliert wird, während die Bleikonzentration ausgeschieden wurde und Zink auf einem konstanten Niveau blieb. Trotzdem hat bei einem Versuch in Costarica eine höhere Zinkkonzentration im Futter eine ganze Larvengeneration stark dezimiert (Diener u. a., 2011). Daher sollte das verwendete Futter möglichst frei von jeglichen Toxinen und Schwermetallen sein (Veldkamp u. a., 2012).

#### Forschungslücken

Während es schon Forschungsergebnisse zu Temperatur, Lichtintensität und Luftfeuchte gibt, sind noch viele Forschungslücken vorhanden, welche biologischen Anforderungen der Larven betreffen. Es braucht weiterhin Forschung in den Bereichen der Eieraufzucht und Feuchtigkeitstoleranz der Larven. Denn dies könnte wesentlich zur Prozessoptimierungen in der Aufzuchtanlage beitragen. Optimierung der Arbeitsschritte und Techniken in der Produktion sind ebenfalls ein wichtiger Punkt, welcher zukünftige Forschung anbelangt (Diener u. a., 2011).

In der Larvenmast fehlt es noch an Wissen über die optimale Nährstoffzusammensetzung, Verdaulichkeit und Verfügbarkeit der Futterkomponenten. Daher sollten sich auch zukünftige Studien mit diesem Thema auseinandersetzen (Barragan-Fonseca u. a., 2017). Einiges weiss man schon über

die Bedürfnisse der Larven bezogen auf Temperatur, Lichtintensität und Luftfeuchte. Jedoch ist weiterhin noch vieles unklar, was den Lebenszyklus der Schwarzen Soldatenfliege anbelangt. Beispielsweise ist noch sehr wenig bekannt über das Verhalten der adulten Tiere in freier Wildbahn. (Barragan-Fonseca u. a., 2017; Gobbi u. a., 2013).

Zusätzlich braucht es weitere Untersuchungen, welche sich mit der optimalen Futtersubstratzusammenstellung auseinandersetzen. Da unterschiedliche Nutztiere verschiedene Ansprüche auf die Nährstoffzusammensetzung des Futters haben, könnte je nach Futterbedarf des Nutztiers, die Futtersubstratzusammensetzung für die Larven festgelegt werden (De Marco u. a., 2015).

## 4 Versuch am FiBL

Das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick (Aargau), betreibt seit einigen Jahren eine Versuchsanlage, welche sich mit der Zucht und Larvenmast der Schwarzen Soldatenfliege *Hermetia illucens* beschäftigt. Diese dient rein der Grundlagenforschung über die Larvenzucht. Um den Ansprüchen der Schwarzen Soldatenfliege gerecht zu werden, wurde speziell dafür eine Forschungseinrichtung in Gipf-Oberfrick geschaffen, welche neben Räumlichkeiten für die Lagerung und Futteraufbereitung auch vollklimatisierte Räumlichkeiten für die Aufzucht und Mast umfasst. In Abbildung 21 sind Käfige ersichtlich, welche der Fortpflanzung und Eierernte dienen.



Abbildung 21 Käfige für die Fortpflanzung und Eierernte am Standort Gipf-Oberfrick (A. Dubsky)

### 4.1 Bisherige Erkenntnisse

Die Produktion der Schwarzen Soldatenfliege birgt noch viele Unsicherheiten. Plötzliche Ausfälle, schwankende Eierproduktion oder Unterschiedliches Nahrungsangebot verursachen Schwierigkeiten in einer Produktionskette, welche es einer kommerziellen Zucht erschwert eine stabile Produktion aufrecht zu erhalten. Zumal die Lohnkosten in europäischen Ländern und der Schweiz hoch sind, muss dies mit der Qualität und Quantität des Endproduktes ausgeglichen werden. Um eine alltägliche Larvenproduktion zu ermöglichen, muss daher auf Effizienz gesetzt werden.

Einer dieser Parameter beinhaltet die Mortalität in gewissen Stadien. Insbesondere ist das erste Larvenstadium betroffen. Dabei ist es erforderlich, dass aus der Menge der geernteten Eier so viele Larven wie möglich schlüpfen, um dann später geerntet zu werden. Konstante Schlupfzahlen können Arbeitsschritte in der Produktion sparen. Zurzeit unterliegen jedoch die Schlupfzahlen hohen



Schwankungen, welche durch eine unerwünscht hohe Mortalitätsrate verursacht wird. Daher ist in diesem Bereich ein besonderes Augenmerk zu widmen.

#### 4.1.1 Frühes Larvenstadium

Eierkartons welche in Abbildung 22 Abbildung 23 zu sehen sind, werden zurzeit 3-mal pro Woche geerntet und inkubiert. Dieser Rhythmus hat sich bewährt, da die Eier frühestens nach 3 Tagen schlüpfen. Eier, welche in den dafür vorgesehenen Eierkarton geerntet wurden (Eierkartons ersichtlich in Abbildung 22 und Abbildung 23), sind derzeit bei schwankenden Verhältnissen, Raumtemperatur bei ca. 27°C und relativen Luftfeuchte von 50-55% inkubiert worden und nach 24h, wurden die Junglarven in Klimaschränken, bei 65-70% Luftfeuchte weiter gezogen.

Früher wurden ganze Eikartons inkubiert, welche über eine Zeitspanne von 2-3 Tage gelegte Eier enthielten. Dies führte zu inhomogenen Larvengrössen und bis zu 12 Tagen langer Aufzuchtdauer führte, bevor die Larven in die eigentliche Mast kommen. Die lange Aufzuchtdauer war erforderlich um sicherzustellen, dass alle Eier geschlüpft waren und die Junglarven bereits eine robuste Grösse erreicht haben, um später für die Mast ein passendes Futter-Larvenverhältnis zu gewährleisten. Da zur Aufzucht Hühnerfutter verwendet wird, sollte dieser Zeitraum so kurz wie möglich gehalten werden, da dieses teuer und hochwertiger ist als das eigentliche Zielfutter. Um diese Zeit der Aufzucht zu verkürzen, wurden sogenannten „hatchling-shower“ (Abbildung 22) eingeführt. In diese werden die Eierkartons gehängt, wobei die frischgeschlüpften Larven in ein dafür vorgesehenes Futtermedium fallen. Um möglichst gleiche Alterskohorten zu erhalten, wird das Nährmedium alle 24 h gewechselt. Dies verkürzt somit die Inkubationszeit auf 7 Tage. Die Larven konnten dadurch einfacher weiterverarbeitet werden (sortiert) und in die Mast (Umwandlung organischer Reststoffe) kommen.

Neben den Optimierungen mechanischer Art, haben weitere biotische und abiotische Faktoren einen grossen Einfluss auf die Entwicklung. Dabei wird vermutet, dass die Mortalitätsrate in der

Zeitspanne der ersten Tage am höchsten ist.

Da bei einer gleichbleibenden, Eiermenge die Menge an Larven stark variiert, welche nach 7 Tagen durch Sieben gewonnen wird.

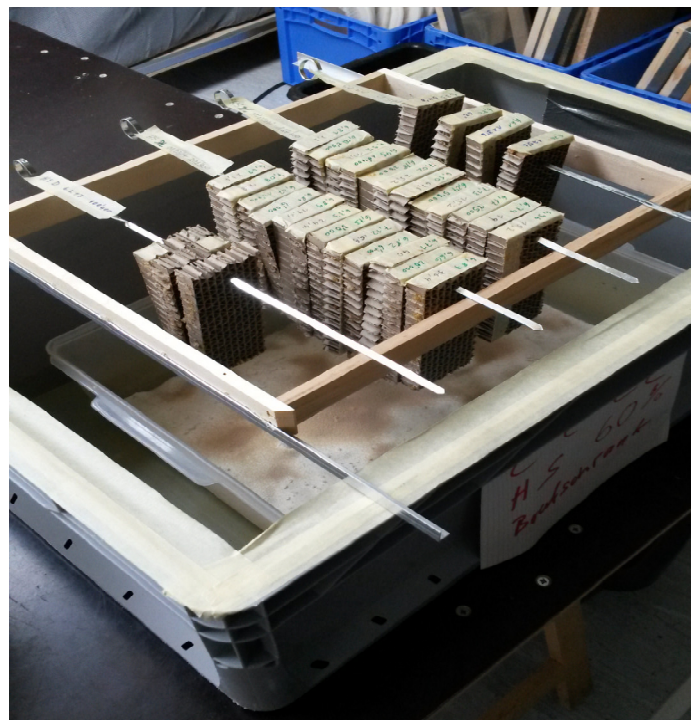


Abbildung 22 Prinzip der hatchling-shower. Eierkartons mit Eiern befinden sich über einer Box mit Futtersubstrat. Die Geschlüpften Larven Fallen auf das Substrat (A. Dubsky)

Weitere mögliche Schwankungen können auch genetischen Ursprungs sein, wie zum Beispiel Inzucht, die die Fruchtbarkeit der Eier direkt beeinflusst oder neben dem die Dichte der Junglarven in der Aufzucht, sowie die Futtermenge pro Larve haben ebenfalls einen Einfluss. Dies wurde mittels eines grossangelegten Versuches 2016 eruiert. Dabei wurden 4 verschiedene Inputmengen von Eiern pro hatchling-shower miteinander verglichen. Auffällig war, dass bei den Eiermengen: 200‘-, 400‘-, 600‘-, und 800‘000 unabhängig voneinander die Überlebensrate überall um die 30 % lag. Daraus resultierte, dass die Besatzdichte weniger eine Rolle spielt und die Futtermenge pro Larve lediglich einen Einfluss auf das Durchschnittsgewicht nach 7 Tagen hat (Sandrock u. a., (in präp.)).

Nach einer durch Zufall verursachten technischen Panne der Raumklimasteuerung wurde festgestellt, dass die Luftfeuchtigkeit während des Schlüpfens der Junglarven von grösserer Bedeutung ist, als vorher angenommen. Dies wird auch durch vorhandene Literatur gestützt, jedoch scheint der notwendige Bereich der Luftfeuchte kleiner zu sein, als bisher angenommen.

Da es scheint, dass die Produktionsschwankungen in der Eieraufzucht durch die relative Luftfeuchte beeinflusst werden, sollte dies durch einen Versuch analysiert werden.



Abbildung 23 Eierkarton mit frischen Eigelegen (A.Dubsky)



## 5 Methode

### 5.1 Versuchsführung

Im Versuch wurde bei 5 Gruppen zeitgleich die Überlebensrate der Junglarven während der ersten 7 Tage untersucht. Als Input, diente eine definierte Menge an Eiern und Futtermittel, welche in allen Gruppen gleich war. Da die Eiernte an die Produktionsbedingungen vor Ort gekoppelt war, wurden die Eier 3-mal die Woche geerntet. Dies geschah mittels Eierkartons, ersichtlich in Abbildung 23, welche mit entsprechenden Datum auf Metallspiesen, in der Hatchlings-shower befestigt wurden (siehe Abbildung 22). Da jedoch nur 3-mal die Woche geerntet wurde (Montag, Mittwoch, Freitag), führte dies zeitlich bedingt zu Schwankungen beim Larvenschlüpfen. Die Eierkartons welche montags geerntet wurden, enthielten Eier welche über einen Zeitraum von 3 Tagen gelegt wurden, während die Eierkartons vom Mittwoch oder Freitag Eier von 2 Tageszeiträumen enthielten. Der Zeitpunkt des Schlüpfens wurde in einem Vorversuch ermittelt, welcher eine Schlupfrate von 70% am 4.Tag und 30% am 5.Tag ergeben hat. Wird nun theoretisch pro Versuchsgruppe eine Eiermenge von 400'000 Eiern geerntet, so entsteht über die Woche betrachtet ein inhomogenes Schlupfbild. Im Versuch wurden diese unterschiedlichen Tagesschlupfraten als Tageseffekt bezeichnet. In Abbildung 24 ist anhand einer 3maligen Erntemenge pro Woche von je 400'000 Eiern diese Schlupf-schwankungen ersichtlich.

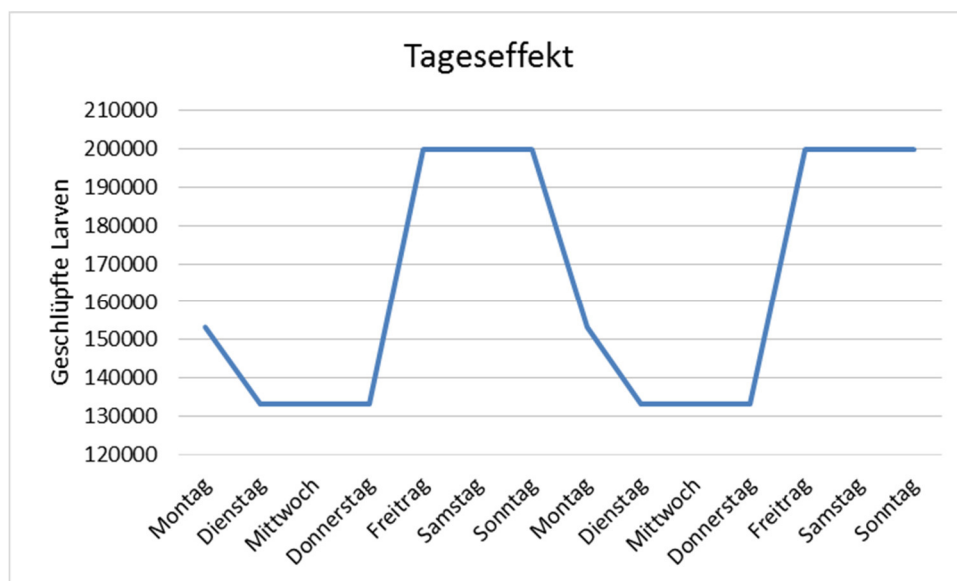


Abbildung 24 Theoretisch ermittelte Tagesschlupfrate über 2 Wochen gesehen, bei einer 3maligen Ernte pro Woche von je 400'000 Eiern.

Der Tageseffekt wurde später in der statistischen Auswertung mitberücksichtigt und war zudem erforderlich für die Ermittlung der Überlebensrate. Beim eigentlichen Versuch wurde pro Ernte, für jede Gruppe eine Eiermenge von  $409'000 \pm 9000$  verwendet. Eine Tabelle der theoretisch berechneten Schlupfraten, der ermittelten Larvenzahlen und den dazugehörigen Überlebensraten, befindet sich

in Anhang D. Damit ab dem ersten Tag des Versuches die Anzahl der Larven dem Zyklus der Tageseffekte unterlagen, wurde bereits eine Woche früher die entsprechende Eizahl geerntet und platziert.

Der gesamte Versuch dauerte 5 Wochen, mit je 3 Auswertungstagen pro Woche (N=15). Diese wurden in Wochenblöcke I-V unterteilt. Die Abläufe wurden so koordiniert, dass diese jeden Tag zu gleichen Zeiten durchgeführt wurden. Die Tabelle mit dem Zeitplan ist in Anhang A ersichtlich. Bei der Versuchsführung wurden insgesamt 2 verschiedene Futtermengen verwendet (Aufgelistet in Anhang B). Wobei bei den letzten 2 Wochenblöcken IV und V die Futterration erhöht wurde, um den Einfluss der Futtermenge zu ermitteln. Übergreifend galt als experimentelle Faktor die Bedingung, dass während der ersten 24h Schlupfphase, unterschiedlichen Luftfeuchten herrschen. Dabei wurden bei 5 Klimaschränken (2x Binder KBF 720, 2x PERCIVAL I-36LLVL, 1x PERCIVAL AR75L) eine Temperatur von je 27°C und eine relative Luftfeuchte (RH) von je: 40%, 50%, 60%, 70% und 80% eingestellt. Zusätzlich zu den Digitalanzeigen an jedem Klimaschrank, wurden diese mit je 2 Datenloggern (DS1923, iButton Hygrochron Temperature/Humidity Logger) ausgestattet, welche die Temperatur und Luftfeuchte überwachten. In den Klimaschränken war zudem keine Lichtquelle vorhanden, so dass in ihnen völlige Dunkelheit herrschte.

Das Futter bestand aus Hühnerfutter (Alleinfutter für Legehennen UFA 625 Wuerfel Universal IPS), Quellwasser und „Schleimi“, eine Flüssigkeit welche Larvenkot und Futterreste aus der Larvenmast enthielt. Die Zubereitung ist unten in Abbildung 25 ersichtlich bei dem die Mengenangaben, wie sie in Tabelle 4 stehen, verwendet wurden. Nach 24 h wurden alle Gruppen zusammen in einen Klimaschrank, zu gleichen Bedingungen (rLF 70%, 27°C) gestellt. Am 5. Tag wurden alle Gruppen bei identischen Raumbedingungen (rLF 50-55%, ca. 27°C) weiter kultiviert und bekamen eine zusätzliche Futterration, bevor sie am 7. Tag ausgezählt wurden.

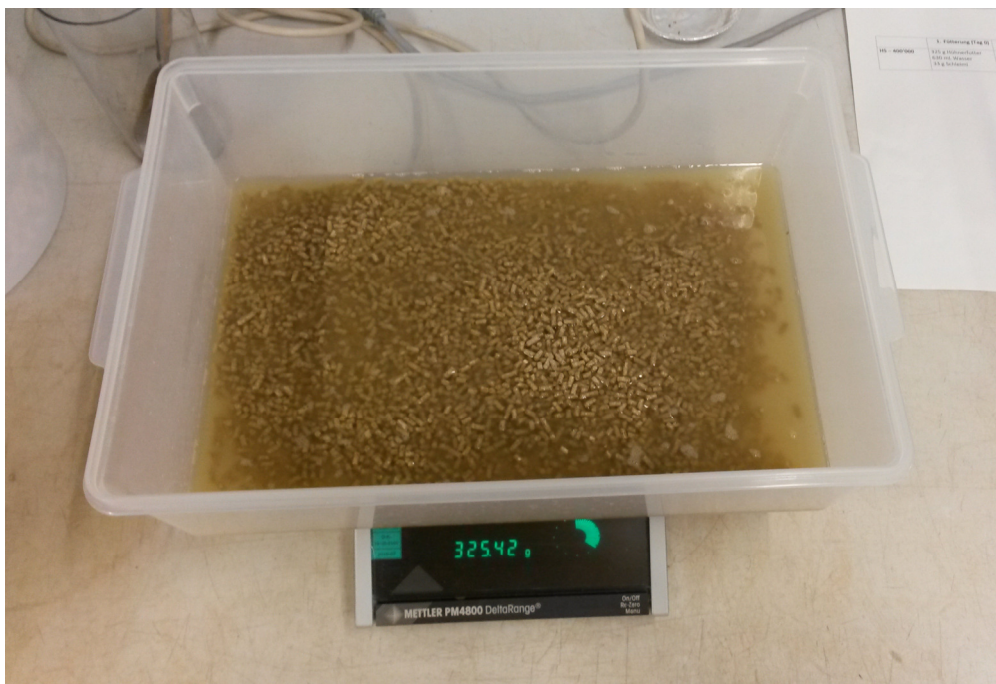


Abbildung 25 Futterzubereitung mit Hühnerfutter und Wasser (A. Dubsky)

Tabelle 4 Futtermischung für die trail I-III und erhöhter Futtermenge für trail IV-V

Wochenblock I-III Futtermenge a	1. Fütterung (Tag 0)	2. Fütterung (Tag 5)
HS-400'000	325 g Hühnerfutter 630 ml Wasser 33g Schleimi	275 g Hühnerfutter 455 ml Wasser
Wochenblock IV-V Futtermenge b	1. Fütterung (Tag 0)	2. Fütterung (Tag 5)
HS-400'000	450g Hühnerfutter 860 ml Wasser 45g Schleimi	450 g Hühnerfutter 720 ml Wasser

Aus den Eierkartons geschlüpfte Larven fielen direkt ins genau abgestimmte Nährmedium, welches alle 24 Stunden gewechselt und als geschlossene Einheit weiter inkubiert wurde. Abbildung 26 zeigt eine Ansammlung frischgeschlüpfter Larven, welche durch die darüber hängende Hatchlin-shower bedingt ist.



*Abbildung 26 Frischgeschlüpfte Larven türmen sich zu Hügeln auf während der ersten 24 h (A. Dubsky)*

Am 5 Tag der Inkubationszeit, bekamen die Larven eine zweite Gabe Futtersubstrat. Die genaue Futtermischung befindet sich in der oben angefügten Tabelle. Mit Erreichen des 7. Tages hatten die Larven eine Grösse, welche es ermöglichte diese von dem restlichen Futtersubstrat (Kot und Unverdauliches) zu separieren. Dies geschah manuell mit unterschiedlichen Siebgrössen. Die kleinste Siebgrösse wies eine Maschenweite von 1 mm<sup>2</sup> auf. In Abbildung 27 ist der manuelle Siebprozess ersichtlich.





Abbildung 27 Siebvorgang mit unterschiedlichen Siebgrößen (A. Dubsky)

Die erhaltene Larvenbiomasse wurde gewogen und anhand von separat gewogenen und ausgezählten Stichproben und den darauf basierenden Larvendurchschnittsgewichten die Gesamtzahl der Larven ermittelt, welche Rückschlüsse auf die Überlebensrate im Vergleich mit den eingesetzter Eiermenge zulässt. Es wurden Stichproben zwischen 2.9 und 4.1 g abgewogen welche nach dem Wiegen ausgezählt wurden. Abbildung 28 zeigt die ausgesiebten Larven, von links nach rechts die Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80.



Abbildung 28 Von links nach rechts die Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80 (A. Dubsky)

Falls die relative Luftfeuchte während der ersten 24 h keinen Einfluss auf das Schlüpfen und die Überlebensrate der Junglarven hat, sollten bei allen Replikaten keine Unterschiede auftreten.

In den Wochenblöcken IV und V, wurde die Futtermenge erhöht, siehe oben Tabelle 4, um den Einfluss der Futtermenge auf die Überlebensrate zu ermitteln, da davon ausgegangen werden kann, dass sich mit unterschiedlichen Überlebensrate, während der gesamten „Vormast“ in Relation zur Manipulation der Luftfeuchtigkeit, während der ersten 24 h, die Futtermenge pro Larven ändert und eventuell, bei sehr hohen Überlebensraten limitierend sein könnte.

Die zweite Futtermenge wurde gezielt, anhand vorliegenden Basisdaten angepasst. Die Hypothese wäre hier, dass sich die Larvengewichte der Gruppe mit weniger Futter, mit jener welche extra Futter zur Verfügung hatte angleichen würde, wenn das Futter keinen Einfluss auf das Durchschnittsgewicht hat. Umgekehrt, sollte der Einfluss der Futtermenge auf die Biomasse haben, die von den Faktoren Anzahl und Durchschnittsgewicht beeinflusst wird, welches wiederum durch Futterknappheit beeinflusst werden.

## 5.2 Statistische Auswertung

Die für eine effiziente Massenproduktion relevanten, sieben Tage nach dem Schlupf erhobenen Parameter Anzahl Larven (bzw. Schlupf-/Überlebensrate bezogen auf die vorhergesagten quantitativen Schlupferfolge, siehe oben), Larvendurchschnittsgewicht und Gesamtbioasse Larven wurden

als abhängige Variablen untersucht. Die während des Experiments kontinuierlich manipulierte relative Luftfeuchte während des Schlupfes (die ersten 24 h), sowie die in Form von experimentellen Blöcken variierte Futtermenge (die ersten drei Wochen niedrig, die letzten 2 Wochen hoch) wurden als unabhängige Variablen berücksichtigt. Aufgrunddessen, dass nicht ausgeschlossen werden konnte, dass die den unterschiedlichen Wochentagen unterliegenden, systematisch bedingten Schwankungen bei den vorhersehbaren zum Schlupf gelangenden Eier ebenfalls von Bedeutung sind, wurde dieser Effekt ebenfalls geprüft und gegebenenfalls berücksichtigt. Konkret wurde unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren, deren Unabhängigkeit nicht per se gegeben eine sukzessive Modellvereinfachung für die entsprechenden Varianzanalysen vorgenommen, also geprüft ob einzelne Faktoren, bzw. die Interaktion zwischen Faktoren signifikant zur Erklärung der Daten beitragen. Nur die die Daten am besten unterstützenden linearen Modelle wurden ausgewählt. Im Zuge der Prüfung der jeweiligen Modellvereinfachungen wurden geprüft ob die Residuen die Annahmen der Normalverteilung und Varianzhomogenität als Grundlage für parametrische Tests erfüllen (mittels Shapiro-Wilk- bzw. Levene Test). Wenn dies nicht der Fall war, wurden die Daten einer der visuellen Inspektion der Residuen-Verteilung entsprechend indizierten Transformation unterzogen und die Unterstützung der jeweiligen Modelle sowie eine Verbesserung bezüglich der Erfüllung der oben genannten Annahmen für parametrische Tests erneut visuell überprüft. Für alle Parameter wurden zwei- oder dreifaktorielle ANOVAs ausgewählt und durchgeführt. Signifikante Einflussfaktoren wurden post-hoc auf die Effektgrößen der jeweiligen Ebenen nach Tukey (HSD) analysiert. Um mögliche Korrelationen zwischen Larvengewicht, Biomasse und Larvenanzahl aufzudecken wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt und anschliessend wurde der Korrelations-Koeffizient nach Bravais-Pearson ermittelt. Um mögliche Schwankungen der Klimaschränke zu analysieren, wurden die Messdaten der Datenlogger ausgewertet, welche alle 15 Minuten die Temperatur und relative Luftfeuchte aufzeichneten. In der Auswertung wurden nur die Tagesmittelwerte der Tage berücksichtigt, an denen die Klimaschränke mit den Versuchsboxen belegt waren. Die Daten wurden ebenfalls auf die Normalverteilung und Varianzhomogenität überprüft (mittels Shapiro-Wilk- bzw. Levene Test). Waren diese nicht gegeben, wurden die Daten mit dem Kruskal-Wallis-Test analysiert. Bei Signifikanzen wurde ein Paarvergleichstest durchgeführt (mittels Post-Hoc-Tests nach Bonferroni-Holm). Für alle vorgenommenen Tests galt  $\alpha=0.05$ . Alle statistischen Analysen wurden mit dem öffentlich zugänglichen Statistikprogramm R durchgeführt („R: The R Project for Statistical Computing“, o. J.). Ein Datenpunkt der für die Behandlung bei der relativen Luftfeuchte 70% erhoben wurde, wurde aufgrund nachvollziehbarer unerwünschter Einflüsse (Schimmel) ausgeschlossen.



## 6 Resultate

Neben der Überwachung der Parameter relative Luftfeuchte und Temperatur mit Anzeigedisplay an den Klimaschränken, ergab die Auswertung der Datenlogger folgende Klimadaten, welche in Abbildung 29 und Abbildung 30 ersichtlich sind. Die geplanten Einstellungen an den Klimaschränken mit einer konstanten Temperatur von 27°C und unterschiedlichen relativen Luftfeuchten, schwankten von Klimaschrank zu Klimaschrank. Für die Auswertung, wurden Tagesmittelwerte verwendet, an denen Tagen wo die Klimaschränke belegt waren. Die Tagesmittelwerte bestehen aus der Datenaufzeichnung der Datenlogger, welche alle 15 min eine Messung vornamen. Tabelle der Tagesmittelwerte ist in Anhang D ersichtlich.

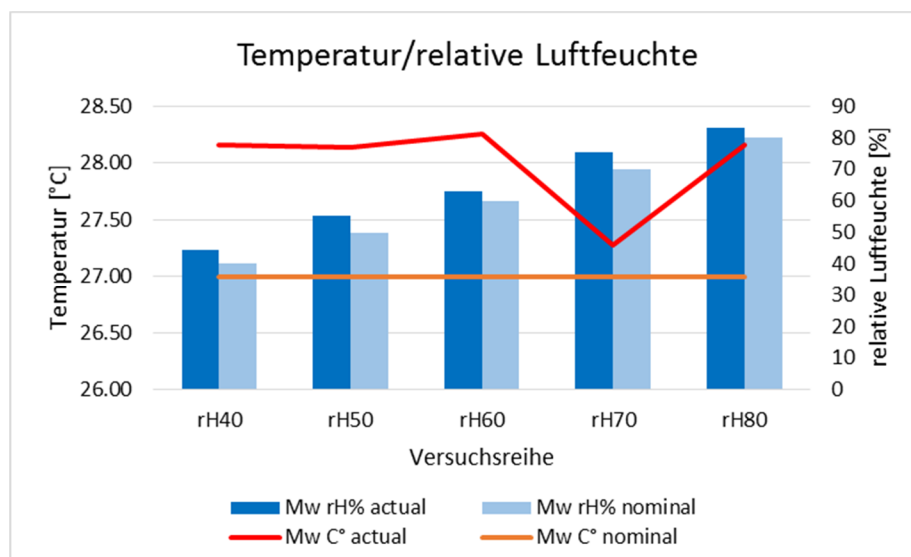


Abbildung 29 Mittelwert der Temperatur und relative Luftfeuchte über die Versuchszeit.

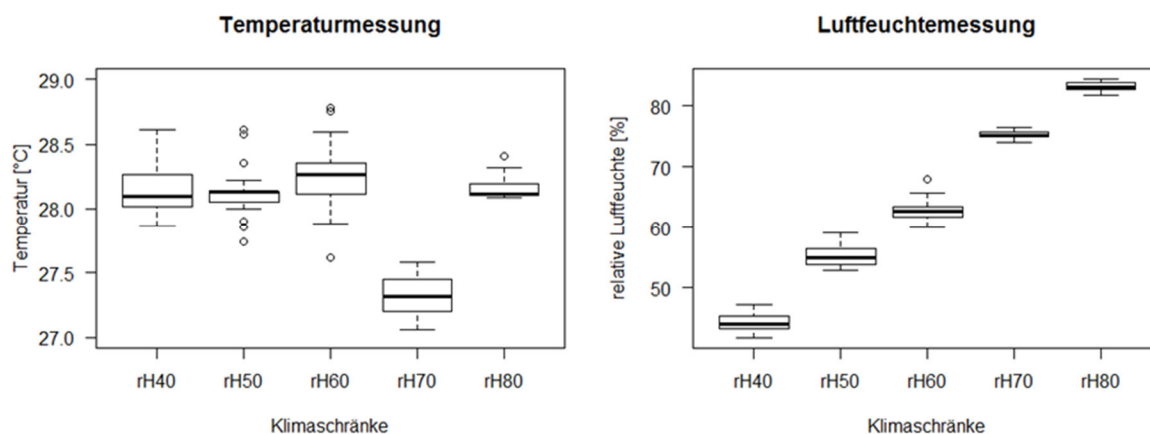


Abbildung 30 Übersicht über die Temperatur und Luftfeuchtemessung während der Versuchsphase.

Die Daten der aufgezeichneten Klimamessung (Temperatur, relative Luftfeuchte) wurden überprüft und waren nicht Normalverteilt und homoskedastisch. Ein Kruskal-Wallis-Test bestätigt einen signifikanten Temperaturunterschied zwischen den Klimaschränken ( $\chi^2(4) = 51.5177$ ,  $P < 0.001$ ). Anschliessend durchgeführte post-hoc Vergleich ergab, signifikante Unterschiede beim Klimaschrank rH70 zu den restlichen Klimaschränken ( $P < 0.001$ ). Die Daten der Aufzeichnung von der



relativen Luftfeuchte wurden ebenfalls mit dem Kruskal-Wallis-Test überprüft. In diesem Fall konnte, wie erwartet, eine Signifikanz festgestellt werden ( $\text{Chi-Quadrat}(4) = 95.0501$ ,  $P < 0.001$ ). Ein paarweiser Vergleich mit dem Post-hoc-Test ergab, dass die Daten der Luftfeuchte bei allen paarweisen Vergleichen zwischen den verschiedenen Klimaschränken signifikant unterschieden ( $P < 0.001$ ). Im Allgemeinen lag im Schnitt die relative Luftfeuchte  $4.1 \pm 0.50$  % und die Temperatur  $1.0 \pm 0.16$  °C, über dem gewünschten Wert.

## Anzahl

In Abbildung 31 ist die Larvenanzahl der Wochenblöcke I-V visualisiert. In Tabelle 5 Sind die Erntemengen dieser aufgelistet. Bei den Wochenblöcken I-III ist ersichtlich, dass rH80 durchschnittlich am meisten Larven ergeben hat. Der zweithöchste Wert lag bei rH50. Der Unterschied zwischen rH50 und rH80 betrug jedoch lediglich  $2.31 \pm 11.19$  %. Am deutlichsten war der Unterschied von rH40 zu rH80. Dabei enthielt rH80  $45.65 \pm 12.28$  % mehr Larven als rH40 und  $8.72 \pm 11.00$  % mehr als rH70. rH60 und rH70 unterschieden sich mit nur  $11.31 \pm 13.16$  % voneinander. Bei den Wochenblöcken IV und V konnte mit der angepassten Futtermenge bei rH80, im Durchschnitt  $61.30 \pm 21.64$  % mehr Larven pro Ernte gewonnen werden als bei rH40. Der geringste Unterschied bei der durchschnittlichen Larvenenernte lag mit  $27.4 \pm 10.30$  %, zwischen rH80 und rH60. Vergleicht man die Summe der Mittelwerte der Wochenblöcke I-III mit den von IV-V, so ergab der Versuch mit erhöhter Futtergabe im Schnitt  $18.2 \pm 9.4$  % tiefere Anzahl Larven.

*Tabelle 5 Durchschnittliche Erntemenge der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80. Die blauen Daten mit dem Zeitraum vom 01.03-17.03. beinhaltet die Wochenblöcke I-III, mit normaler Futtergabe und die orangen Daten mit dem Zeitraum vom 22.03-31.03. beinhalten die Wochenblöcke IV-V, mit erhöhter Futtergabe.*

Anzahl Larven					
Datum Auszählung	rH40	rH50	rH60	rH70	rH80
01.03.	35231	95223	78374	111848	151724
02.03.	66062	160820	153234	63095	126259
03.03.	109657	131463	107946	NA	149661
08.03.	81710	107352	140442	133402	91170
09.03.	117915	210789	141626	133467	152114
10.03.	111789	104253	89324	125916	133486
15.03.	97601	121748	51913	122091	126066
16.03.	107233	140015	140606	147282	193690
17.03.	122778	138464	119579	175101	113846
<b>Mittelwert:</b>	<b>94442</b>	<b>134459</b>	<b>113672</b>	<b>126525</b>	<b>137557</b>
22.03.	46761	114224	90468	77145	121834
23.03.	138797	112932	110945	136553	132628
24.03.	109460	141832	108707	109337	131935
29.03.	25550	34948	63762	22088	156425
30.03.	78190	116425	133104	72683	113638
31.03.	78655	82934	97476	104093	113631
<b>Mittelwert:</b>	<b>79569</b>	<b>100549</b>	<b>100744</b>	<b>86983</b>	<b>128348</b>

In der Abbildung 31 ist die durchschnittliche Erntemenge der Gruppen mit unterschiedlichen Futterrationen ersichtlich.

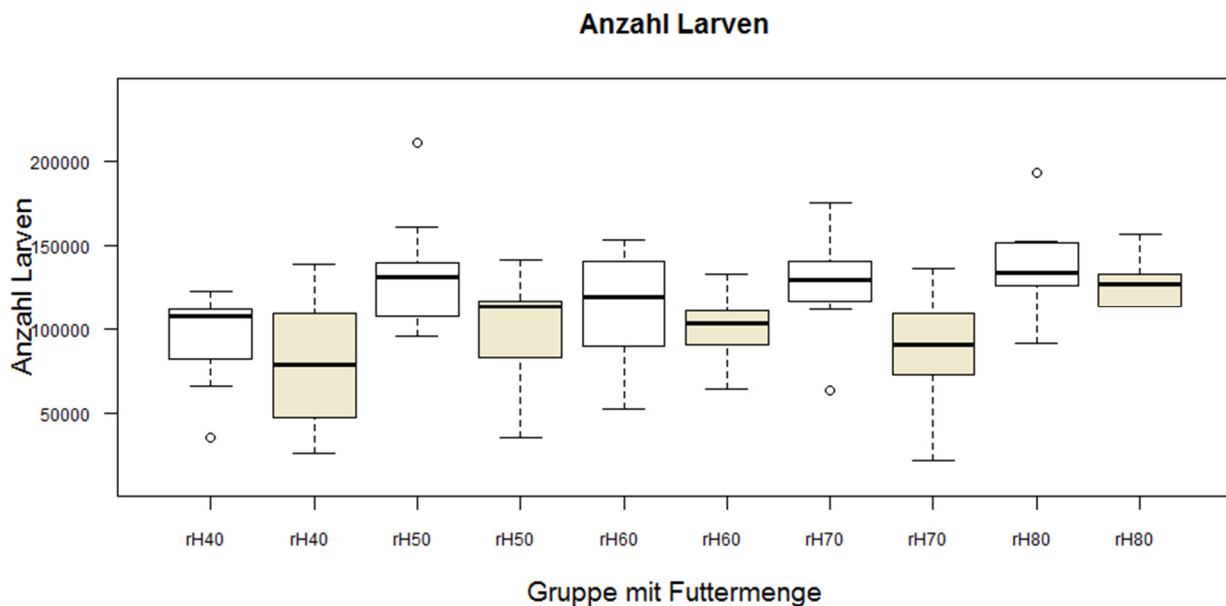


Abbildung 31 Wochenblöcke I-V mit der Anzahl Larven der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80, mit normaler Futtermenge (weiss) und erhöhter Futtermenge (grau)

Ein komplexes Modell mit den drei erklärenden Variablen relative Luftfeuchte, Futtermenge und Wochentag wurde identifiziert und mittels ANOVA analysiert (Luftfeuchte:  $F_{4,66} = 5.327$ ,  $P = 0.0009$ ; Futtermenge:  $F_{1,66} = 10.913$ ,  $P = 0.0015$ ; Wochentag:  $F_{2,66} = 10.737$ ,  $P < 0.0001$ ). Signifikante Interaktionen zwischen den Faktoren waren nicht angezeigt und die paarweisen Kontraste innerhalb der Faktoren identifizierten einen signifikant negativen Einfluss geringerer Luftfeuchte bei zwei paarweisen Vergleichen mit rH40: rH50-rH40 ( $t=3.150$ ;  $P=0.0289$ ), rH80-rH40 ( $t=4.412$ ;  $P<0.001$ ); einen signifikant negativen Einfluss einer höheren Futtermenge ( $t=-3.304$ ;  $P=0.0187$ ); sowie die signifikant niedrigere Larvenzahlen zur Wochenmitte: Mi.-Fr. ( $t=-3.161$ ;  $P=0.0281$ ), Mi.-Do. ( $t=-4.523$ ;  $P<0.001$ ) aufweisen.

Mit dem Ziel, die Daten unabhängig von dem erwarteten, aber nicht ganz befriedigenden Wochentageffekt untersuchen zu können, wurden die Larvenanzahlen nach den oben beschriebenen Annahmen in Überlebensraten der tagesbedingt schwankenden, vorhergesagten Schlüpflinge transponiert. Basierend auf diesen, von den systembedingten numerischen Schwankungen unabhängigen Daten, ergab die Überprüfung der Modellvereinfachung, dass sich eine zweifaktorielle ANOVA mit den Faktoren Luftfeuchte und Futtermenge, zwischen denen ebenfalls keine Interaktion angezeigt war, besser zur Erklärung der Daten eignet (Luftfeuchte:  $F_{4,68}=4.632$ ;  $P=0.0023$ ); Futtermenge ( $F_{1,68}=9.9171$ ;  $P=0.00243$ ). Die oben detaillierten Effekte wurden jedoch mittels paarweisen post-hoc Vergleichen bestätigt (rH50-rH40,  $t=2.825$ ;  $P=0.04700$  und rH80-rH40,  $t=3.871$ ;  $P=0.00221$ ; Futtermenge  $t=-3.149$ ;  $P=0.0223$ ). Eine Übersicht über die Resultate befindet sich unten in Tabelle 8.

## Durchschnittsgewicht

In Tabelle 6 sind die Durchschnittsgewichte der einzelnen Durchgänge aufgelistet. Das höchste durchschnittliche Larvengewicht der Wochenblöcke I, II und III, konnte bei der Gruppe rH40 ermittelt werden. Hingegen wurde das tiefste durchschnittliche Larvengewicht bei rH50 und rH80 ermittelt, gefolgt von rH60. Somit hatte rH40  $50.14 \pm 20.00$  % schwerere Larven als der niedrigste Wert von rH50 und rH80. Der zweithöchste Wert bei rH60 lag mit  $22.67 \pm 23.73$  % tiefer als derjenige beim rH40. Bei den Wochenblöcken IV und V, mit der erhöhten Futtergabe, lag der höchste Wert bei rH40, gefolgt von rH70. Dabei lag der Wert von rH70 nur  $4.41 \pm 25.90$  % tiefer als bei rH40. Der tiefste Wert des durchschnittlichen Larvengewichts, lag bei rH80, welcher im Schnitt um  $95.95 \pm 26.55$  % leichter war als rH40. Der zweittiefste Wert konnte bei rH60 ermittelt werden. Vergleicht man das gesamte durchschnittliche Larvengewicht der Larven mit erhöhter Futtermenge, so waren die Larven im Schnitt  $109.70 \pm 24.57$  % schwerer als die Larven mit normaler Futterration.

*Tabelle 6 Durchschnittliches Larvengewicht der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80. Die blauen Daten mit dem Zeitraum vom 01.03-17.03 beinhaltet die Wochenblöcke I-III, mit normaler Futtergabe und die orangen Daten mit dem Zeitraum vom 22.03-31.03 beinhalten die Wochenblöcke IV-V, mit erhöhter Futtergabe.*

Durchschnittsgewicht eine Larve [g]					
Datum Auszählung	RH40	RH50	RH60	RH70	RH80
01.03.	0.008105	0.003367	0.002470	0.002238	0.001697
02.03.	0.003134	0.001700	0.001710	0.004465	0.002415
03.03.	0.003165	0.002595	0.003075	NA	0.002382
08.03.	0.003495	0.001419	0.001519	0.001881	0.003098
09.03.	0.001992	0.001575	0.002237	0.002486	0.002291
10.03.	0.003620	0.003956	0.003557	0.002857	0.002830
15.03.	0.003672	0.003215	0.006822	0.002785	0.002697
16.03.	0.002784	0.002052	0.002296	0.002208	0.001729
17.03.	0.003057	0.002117	0.003236	0.001663	0.002761
<b>Mittelwert:</b>	<b>0.0037</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0030</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0024</b>
22.03.	0.0066872	0.0032768	0.0056536	0.00603605	0.00429479
23.03.	0.004	0.004855	0.00524422	0.0035081	0.0032475
24.03.	0.00542781	0.00405782	0.00477218	0.0047831	0.00443832
29.03.	0.0161216	0.0145394	0.0070761	0.0191914	0.0024981
30.03.	0.00528735	0.00403508	0.0038645	0.00364993	0.00308709
31.03.	0.0065802	0.00635937	0.00495641	0.00507343	0.00494223
<b>Mittelwert:</b>	<b>0.0074</b>	<b>0.0062</b>	<b>0.0053</b>	<b>0.0070</b>	<b>0.0038</b>

Ein komplexes Modell mit den drei erklärenden Variablen relative Luftfeuchte, Futtermenge und Wochentag wurde identifiziert und mittels ANOVA analysiert (Luftfeuchte:  $F_{4,66} = 2.976$ ,  $P = 0.0254$ ; Futtermenge:  $F_{1,66} = 61.899$ ,  $P < 0.001$ ; Wochentag:  $F_{2,66} = 4.769$ ,  $P = 0.0116$ ). Die Daten wurden mit dem negativen Kehrwert ( $-1/x$ ) transformiert, um den Annahmen einer ANOVA entgegenzukommen. Signifikante Interaktionen zwischen den Faktoren waren nicht angezeigt und die paarweise

Kontraste innerhalb der Faktoren identifizierten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Wochentagen, aber einen signifikant negativen Einfluss höherer Luftfeuchte bei dem paarweisen Vergleiche rH80-rH40 ( $t=-3.121$ ;  $P=0.0314$ ), sowie einen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Futtermengen, wobei mehr Futter zu schwereren Larven führte ( $t = 7.868$ ,  $P < 0.001$ ).

In der unteren Abbildung 32 wird dieser Effekt der erhöhten Futtergabe nochmals verdeutlicht. Eine Übersicht über die Resultate befindet sich unten in Tabelle 8.

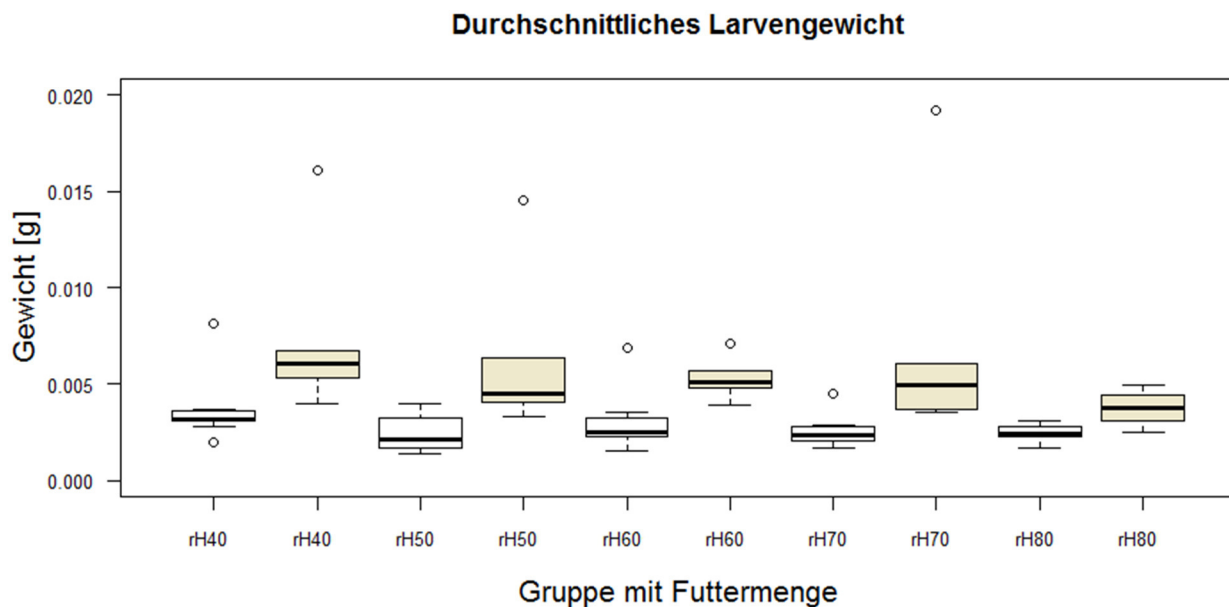


Abbildung 32 Wochenblöcke I-V mit dem durchschnittlichen Larvengewicht der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80, mit normaler Futtermenge (weiss) und erhöhter Futtermenge (grau)

## Biomasse Total

Auch hier lässt sich sagen, dass die Biomasse durch die Futtermenge und den Wochentageffekt, aber nicht durch die Luftfeuchtigkeit beeinflusst wird. Diese wird bereits beim Betrachten der Abbildung 32 deutlich, dass die Futtermenge einen Einfluss auf die geerntete Biomasse hat. Vergleicht man bei dem Larvengewicht vergleicht man in der Tabelle 7 die Mittelwerte der Blöcke I,II,III mit denen der Blöcke IV und V, so liegt dieser bei den Wochenblöcke IV und V, um  $55.7 \pm 3.96$  % höher. Somit ist auch hier, der Einfluss einer erhöhten Futterration deutlich sichtbar.

Tabelle 7 Durchschnittlich Biomasse pro Erntedurchgang, der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80. Die blauen Daten mit dem Zeitraum vom 01.03-17.03. beinhaltet die Wochenblöcke I-III, mit normaler Futtergabe und die orangen Daten mit dem Zeitraum vom 22.03-31.03. beinhalten die Wochenblöcke IV-V, mit erhöhter Futtergabe.

Larvengewicht Total [g]					
Datum Auszählung	rH40	rH50	rH60	rH70	rH80
01.03.	285.55	320.62	193.61	250.33	257.49
02.03.	207.06	273.37	261.41	281.72	304.86
03.03.	347.11	341.21	331.99	NA	356.54
08.03.	285.55	152.30	213.23	250.88	282.44
09.03.	234.84	332.19	316.86	331.83	348.64
10.03.	405.51	412.46	317.77	359.76	376.39
15.03.	358.38	319.46	354.15	340.04	340.00
16.03.	298.59	287.26	322.83	325.22	334.93
17.03.	375.38	293.10	386.91	291.22	314.36
<b>Mittelwert:</b>	<b>310.89</b>	<b>303.55</b>	<b>299.86</b>	<b>303.88</b>	<b>323.96</b>
22.03.	312.7	374.3	511.48	465.65	523.25
23.03.	555.19	548.29	581.82	479.05	430.72
24.03.	594.13	575.53	518.77	523.97	585.57
29.03.	411.91	508.13	451.19	423.9	390.78
30.03.	413.421	473.189	516.92	265.25	350.81
31.03.	517.57	527.41	483.13	528.11	561.59
<b>Mittelwert:</b>	<b>467.49</b>	<b>501.14</b>	<b>510.55</b>	<b>447.66</b>	<b>473.79</b>

Ein komplexes Modell mit den drei erklärenden Variablen relative Luftfeuchte, Futtermenge und Wochentag wurde identifiziert und mittels ANOVA analysiert (Luftfeuchte:  $F 4, 66 = 0.36$ ,  $P = 0.836$ ; Futtermenge:  $F 1, 66 = 137.269$ ,  $P < 0.0001$ ; Wochentag:  $F 2, 66 = 11.89$ ,  $P < 0.0001$ ). Signifikante Interaktionen zwischen den Faktoren waren nicht angezeigt und die paarweise Kontraste innerhalb der Faktoren identifizierten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Luftfeuchtigkeiten. Die Futtermenge hatte einen signifikant positiven Effekt auf die Biomasse ( $t = 11.716$ ,  $P < 0.001$ ). Ausserdem wurde die höchste Biomasse an Larven an Freitagen geerntet (Do.-Fr.:  $t = -3.657$ ,  $P = 0.0065$ ; Mi.-Fr.:  $t = -4.636$ ,  $P < 0.001$ ).

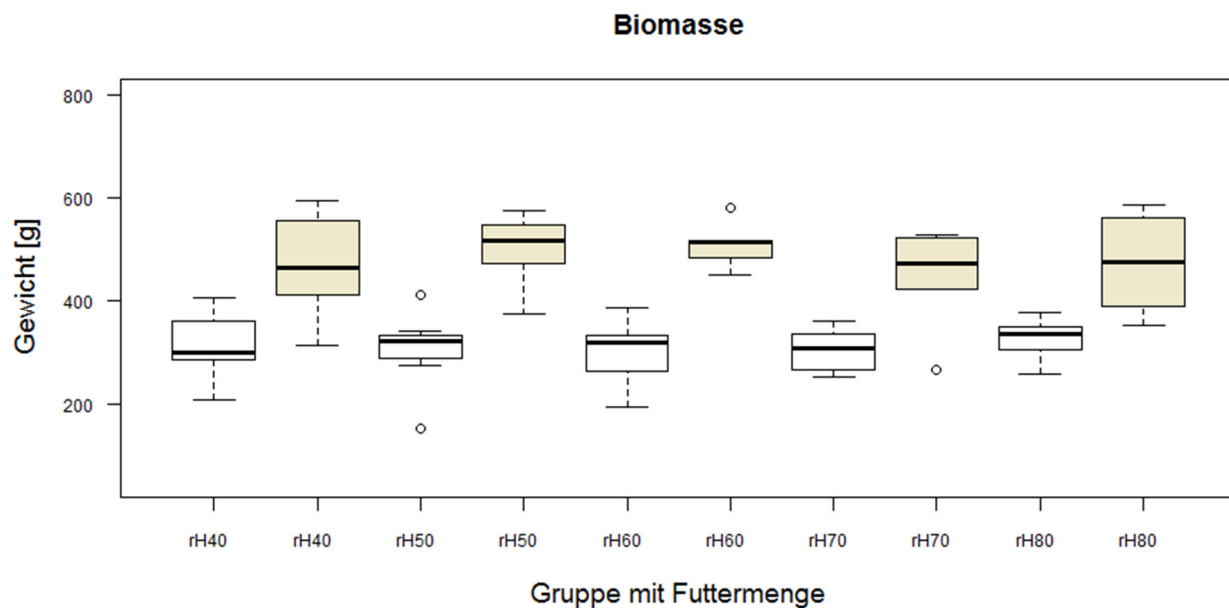


Abbildung 33 Wochenblöcke I-V mit der durchschnittlich generierten Biomasse, der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80, mit normaler Futtermenge (weiss) und erhöhter Futtermenge (grau)

Tabelle 8 Zusammenfassung der Resultate. Die Tabelle zeigt horizontal gelesen, bei welcher relativen Luftfeuchte und bei welcher Futtermenge ein Unterschied in der Larvenanzahl, dem Larvengewicht, respektive der Biomasse festgestellt werden konnte. Die Bezeichnung „ab“ bedeutet, dass kein signifikanter Unterschied zu anderen Gruppen gefunden wurde. Hingegen konnte statistisch belegt werden, dass sich die mit a bezeichneten Gruppen von den b Gruppen unterscheiden.

	rH40	rH50	rH60	rH70	rH80	Futtermenge [A]	Futtermenge [B]
Larvenanzahl	a	b	ab	ab	b	a	b
Larvengewicht	a	ab	ab	ab	b	a	b
Biomasse	ab	ab	ab	ab	ab	a	b

### Korrelationen über alle Versuchsgruppen

Das durchschnittliche Larvengewicht und die Anzahl der Larven korrelierten signifikant ( $r=-0.737$ ,  $P<0.001$ ). Je grösser die Larvendichte war, umso niedriger war das Larvengewicht. Dieser Effekt war ebenfalls bei der erhöhten Futtergabe vorhanden. In der Abbildung 34 ist dieser Trend ersichtlich. Diese Parameter Biomasse und Larvengewicht korrelierten diese signifikant ( $r=0.400$ ,  $P<0.001$ ), wenn auch weniger stark. Bei steigendem Larvengewicht, steigt dementsprechend auch die Biomasse, was ersichtlich in Abbildung 35 ist. Die Larvenanzahl und die Biomasse korrelieren nicht miteinander ( $r=-0.088$ ,  $P=0.453$ ). Somit hat die Larvenanzahl im Gegensatz zum durchschnittlichen Larvengewicht keinen Einfluss auf die Biomasse wie in Abbildung 36 aufgeführt ist, obwohl das durchschnittliche Larvengewicht durch die Anzahl der Larven beeinflusst wird.

### Korrelation Larvenanzahl-Larvengewicht

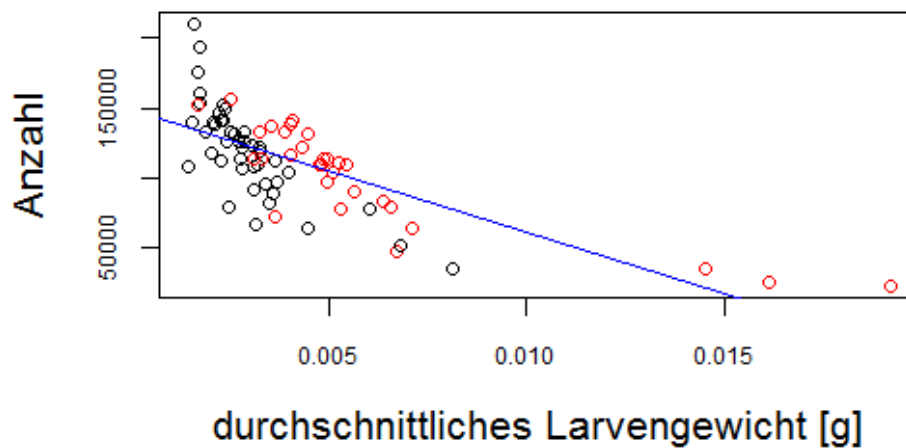


Abbildung 34 Korrelation zwischen Larvenanzahl und Larvengewicht, aller ausgezählten Proben mit normaler Futtermenge (schwarz) und erhöhter Futtermenge (rot)

### Korrelation Biomasse-Larvengewicht

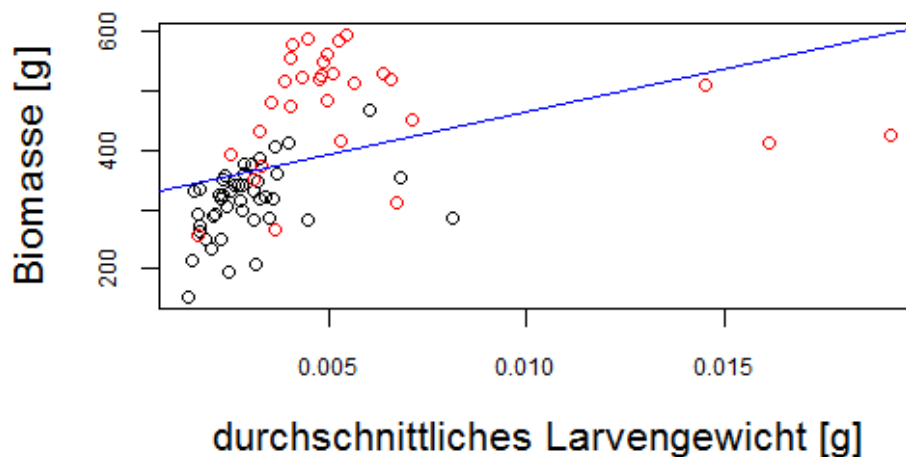


Abbildung 35 Korrelation zwischen Biomasse und Larvengewicht, aller ausgezählten Proben mit normaler Futtermenge (schwarz) und erhöhter Futtermenge (rot)

### Korrelation Larvenanzahl-Biomasse

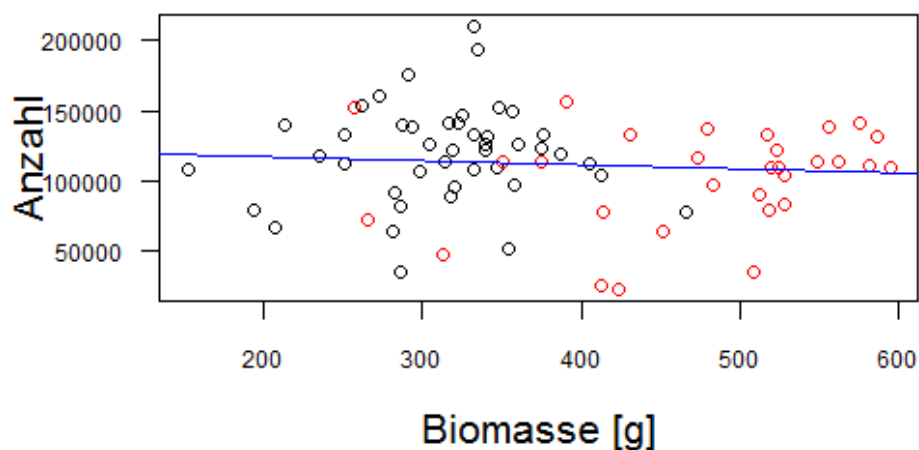


Abbildung 36 Korrelation zwischen Larvenanzahl und Biomasse, aller ausgezählten Proben mit normaler Futtermenge (schwarz) und erhöhter Futtermenge (rot)

## 7 Diskussion

Der durchgeführte Versuch konnte aufzeigen, dass die rLF innerhalb der ersten 24 h einen signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate hat auf den Larvenschlupf und das erste Larvenstadium. Aus der hervorgegangenen Überlebensrate lässt sich sagen, dass diese bereits einen starken Einfluss auf die Schlüpflinge ausübt. Es scheint dass die höhere rLF optimalere Bedingungen für die biologische Schlupfrate bietet, was eine deutlich bessere Überlebensrate mit sich bringt. Am besten schnitt die Gruppe rH80 ab während rH40 am schlechtesten war. Bei rH60 und rH70 lag die durchschnittliche Überlebensrate  $24.69 \pm 12.32 \%$  und  $19.70 \pm 16.43 \%$  höher als bei rH40 und war somit nicht signifikant. rH80 hatte mit  $54.31 \pm 12.40 \%$  signifikant höhere Überlebensrate als rH40. Interessanterweise war rH50 ebenfalls mit  $39.64 \pm 13.92 \%$  höherer Überlebensrate besser als rH40, jedoch lag kein signifikanter Unterschied zu rH80 vor. rH50, rH60, rH70 und rH80 unterschieden sich nicht signifikant untereinander. Betrachtet man die Resultate, scheint es zwei Stufen zu geben. So verbessert sich die Überlebensrate ab einer rLF von 50 % und stagniert ab 60 %, bis sie wieder ab 80 % signifikant ansteigt. Wenn man die Daten aus der Abbildung 31 betrachtet, deutet sich bei ansteigender Luftfeuchte eine leichte Zunahme der Anzahl Larven an. Bei einer stärkeren Replikation hätte sich der Unterschied zwischen den Gruppen rH60 und rH70 zu rH40 evtl. sogar statistisch absichern lassen können. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass für das erste Larvenstadium innerhalb der ersten 24 h vom Schlupf ausgehend, zukünftig eine rLF von über 50 % oder höher gewählt werden sollte, um bereits so früh wie möglich den Larven optimale Bedingungen zu gewährleisten und damit eine hohe Überlebensrate zu erreichen.

Was ebenfalls aufgezeigt werden konnte, ist das die rLF einen signifikant negativen Einfluss auf das Larvengewicht ausübt (ersichtlich in Tabelle 8) welches lediglich bei rH40-rH80 der Fall war. Die rLF hatte keinen direkten signifikanten Einfluss auf die Biomasse, jedoch da das durchschnittliche Larvengewicht mit der Biomasse korreliert, wird dieses von der rLF indirekt beeinflusst. Die unterschiedlichen rLF konnten lediglich innerhalb der ersten 24 h das Larvengewicht und Biomasse beeinflussen, während der Einfluss der Futtermenge über die anschliessenden 6 Tage stärker ausgeprägt war. Man kann davon ausgehen, dass die Futtermenge während der ersten 24 h, keinen Einfluss auf die Überlebensrate, auf das Larvengewicht und die Biomasse ausübt. Wie bereits in der Abbildung 26 ersichtlich ist, waren viele Larven nach den ersten 24 h nicht auf dem Futtersubstrat verteilt, sondern klebten förmlich aneinander. Es ist daher anzunehmen, dass die Futtermenge erst ab einem späteren Zeitpunkt, Einfluss auf das Larvengewicht und Biomasse ausüben kann, während zu einem früheren Zeitpunkt, davon ausgegangen werden kann, dass Futter generell kein limitierender Faktor was und ad libitum vorlag.

Diese erhöhte Futtergabe wirkte sich positiv auf das durchschnittliche Larvengewicht und die Biomasse aus. Innerhalb der Woche wurden sowohl diese Parameter und vor allem die Larvenanzahl



aber auch vom Tageseffekt beeinflusst. So gab es Schwankungen bezüglich des Larvengewichts und Biomasse, welche vermutlich auf niedrigere tagesabhängige Schlupfzahlen rückzuführen sind, die Tagesabhängig waren. Unabhängig von diesen Tageseffekten ergab sich, dass eine höhere Futtermenge einen signifikant schlechten Einfluss auf die Überlebensrate hat. So lag die Anzahl an Larven bei den Wochenblöcken IV und V mit erhöhter Futtermenge (B) durchschnittlich  $18.2 \pm 9.45$  % tiefer, als bei den Wochenblöcken mit der normalen Futtermenge (A). Wie untersucht wurde, korreliert die Larvenanzahl mit dem Larvengewicht, welches sich ebenfalls positiv auf die Biomasse auswirkt. So stand wahrscheinlich den relativ gesehen weniger Larven eine höhere Futterration zur Verfügung, was das höhere Larvengewicht erklären könnte. Dieser Sachverhalt stellt sich jedoch als sehr komplex heraus, da der beschriebene Effekt auf verschiedenen Ebenen ähnlich zu wirken scheint, worauf die Abwesenheit von Interaktionen mit anderen Einflussfaktoren wie Anzahl Larven bzw. Wochentag hindeuten. Obwohl die Überlebensrate der Larven der Wochenblöcke mit höherer Futtermenge tiefer lag, konnte wegen dieser Korrelation durchschnittlich  $55.7 \pm 3.96$  % höhere Biomasse generiert werden. Es zeigte sich, dass durch die erhöhten Futtermenge (50 % mehr Futter) und daraus resultierender tieferen Larvenzahlen, die Larven über alle rH-Gruppen  $109.7 \pm 24.56$  % schwerer waren.

Für eine spätere Larvenmast ist jedoch zu diesem Zeitpunkt eine hohe Biomasse nicht die oberste Priorität. Neben einem das Aussiebeverfahren vereinfachenden, möglichst hohen Durchschnittsgewicht, ist das oberste Ziel, eine möglichst hohe Anzahl an Larven zu erhalten, welche im Endeffekt während der Larvenmast mehr Abfälle verwerten und somit zu einem späteren Zeitpunkt eine nachhaltig erzeugte, höhere Biomasse generieren.

Grundsätzlich konnte der Tageseffekt wie erwartet in allen Bereichen gemessen werden. Durch die Schlupfrate bedingten Schwankungen lag die Larvenanzahl zur Wochenmitte (Mi.) tief und zum Wochenende (Mi.-Fr.) steigend. Dies hatte nicht nur einen direkten Einfluss auf die Larvenmenge, sondern indirekt auch auf das Larvengewicht und Biomasse. Eine Berücksichtigung des Tageseffekts in der Statistik war daher unumgänglich. Die statistische Auswertung konnte diesen ebenfalls bestätigen und aufzeigen, dass zur Wochenmitte signifikant tiefere Anzahl an Larven ausgezählt werden konnte. Dies hätte wie oben bereits erwähnt, einen Einfluss auf das Larvengewicht und Biomasse. Die dargelegten Zusammenhänge deuten darauf hin, dass es nur sehr schwierig zu sein scheint, hohe Larvenzahlen, welche im engeren Sinn Überlebensraten darstellen, und hohe durchschnittliche Larvengewichte gleichzeitig zu maximieren. Hier liegen offenbar gewisse Zielkonflikte vor, die in der Praxis gewisse Kompromisse erfordern.

Während der Aufzucht der Larven, kam es vereinzelt zu Schwankungen, welche bei dem Wochenblöcken mit erhöhten Futtergaben ausgeprägter vorkamen. Dabei vermutet man, dass die Larven wahrscheinlich durch diversen Mikroorganismen beeinflusst werden. Bei höheren Futtergaben könnten sich bestimmte Mikroorganismen in durch die Larven ungenutztem Futter schneller ver-

mehren und die Larven eventuell durch nachteilige Stoffwechselprodukte beeinflussen. Diese können sich negativ auf die Junglarven auswirken. Ein Beispiel für so eine Schwankung ist in der Abbildung 37 ersichtlich. Auf dem Bild ist verkrustetes Futtersubstrat im Randbereich der Futterbox erkennbar. Dieses schien durch Bakterien, oder Schimmelbefall verursacht worden sein. In diesen Bereichen konnten oftmals tote Larven beobachtet werden. Ein solches Beispiel war auch der Ausreisser der Gruppe rH70 vom 03.03., welcher nicht in die statistische Auswertung miteinfluss. Um dem entgegenzuwirken, könnte man in Zukunft in jede Versuchsbox ca. 10 grosse Larven beifügen. Diese würde durch ihre Ausscheidungen, das Substrat mit tendenziell vorteilhaften, eher dem Larveneigenen Mikrobiom zuzuordnenden Mikroorganismen beimpfen und für eine Substratdurchmischung sorgen. Wie oben erwähnt wird, war das Larvengewicht von der Larvenanzahl stark abhängig welches sich auf die Biomasse auswirkte. Es scheint, dass die höhere Futtermenge nachteilige Mikroorganismen begünstigt haben könnte, welches im Endeffekt eine niedrigere Larvenanzahl aber dennoch eine höhere Biomasse generierte weil den relativ gesehen wenigeren Larven, relativ gesehen mehr Futter zur Verfügung stand, nachdem diese die vermutlich sensiblere, frühe Phase des ersten Larvenstadiums überstanden hatten. Dies könnte ebenfalls im allgemeinen die höhere Biomasse der Wochenblöcke IV und V, begünstigt haben.



*Abbildung 37 Verkrustete Oberfläche mit leichtem Schimmelbefall*

### **Einfluss der Klimaschränke**

Wie die Auswertung der Datenlogger aufzeigen konnte, traten Unterschiede bei den Klimaschränken auf. So stimmten nicht immer die Einstellungen der Klimaschränke überein mit der tatsächlichen Temperatur und relativen Luftfeuchte welche gemessen wurde. Eine statistische Erhebung konnte eine gegenüber den anderen Klimaschränken signifikant niedrigere Temperatur beim Klimaschrank

rH70 aufzeigen. Eine mögliche Ursache für diese Schwankung wäre, dass der Klimaschrank rH70 neben der Versuchsdurchführung auch die Versuchsboxen aller Gruppen während der 4-tägigen Zeitspanne bis zur zweiten Fütterung beinhaltete. Dies führte mit sich, dass die Türen des Klimaschranks viel häufiger geöffnet wurde, was zu häufigeren Wärmeverlusten geführt haben dürfte, die insgesamt nicht ausgeglichen werden konnten. Ebenfalls könnte das Vorhandensein der Versuchsboxen durch die grössere Wasserverdunstung aus den Futtersubstraten zu den Schwankungen geführt haben. Der Einfluss aus diesen Gegebenheiten könnte das Resultat von rH70 beeinflusst haben, da die Temperaturbedingungen nicht überall gleich waren. Wie aus der Literaturrecherche hervorgeht, kann ein Temperaturunterschied von 3 °C einen signifikanten Einfluss auf die Larvenentwicklung haben. Jedoch lag im Versuch die Temperatur durchschnittlich  $1.0 \pm 0.36$  °C über den angestrebten 27 °C. Der höchste Wert lag mit 1.25 °C über dem gewünschten Wert, beim Klimaschrank der Gruppe rH60. Zumindest lag der zweithöchste Wert, mit 1.16 °C und dritthöchste mit 1.15 °C unterschied bei rH40 und rH80. Daher kann man über die Stärke des Einflusses auf die Resultate nur Vermutungen anstellen. Der komplett gemessene Temperaturverlauf des Versuches ist in Anhang E graphisch ersichtlich. Ebenfalls konnte eine leicht erhöhte Luftfeuchte gemessen werden, die im Schnitt  $4.1 \pm 1.1\%$  über dem gewünschten Wert lag. Diese Ungenauigkeit, könnte allenfalls dem aus dem Futtersubstrat entweichender Feuchte zugeschrieben werden. Es wäre auch eine technische Ungenauigkeit denkbar. Da dieser Effekt jedoch systematischer Natur war, alle angestrebten Luftfeuchtigkeiten ähnlich beeinflusste und alle Feuchtigkeitsregime signifikant unterschiedliche Verläufe in den angestrebten, gestaffelten 10 % Differenzen aufwiesen, wurden die Zielvorgaben maximal dahingehend beeinflusst, dass der angestrebte, sehr niedrige Bereich von 40 % überschritten wurden und nicht in dem Masse als negative Referenz fungierte, wie anhand der bekannten Literatur angedacht.

### Weitere mögliche Fehlerquellen

Wie aus der Literaturrecherche hervorgeht, ist die biologisch bedingte Eierfertilität von den Lichtbedingungen abhängig. Da an der Versuchsanlage die adulten Tiere hauptsächlich durch natürlichen Tageslicht stimuliert wurden mit Unterstützung von Kunstlicht aus Leuchtstoffröhren, können hier ebenfalls Schwankungen entstanden sein. Diese können Wetterbedingt sein und hätten ebenfalls neben dem Tageseffekt einen Einfluss auf die Schlupfrate der Eier. Jedoch wäre auch dieser Effekt eher systematischer Natur mit gleichem Einfluss auf alle Versuchsgruppen. Eine Möglichkeit solchen Schwankungen entgegenzuwirken zeigt die Studie von Oonincx (2016), welche mit einer LED Beleuchtung im passenden Wellenbereich die adulten Tiere zur Paarung stimulieren konnte, was eine hohe Eierfertilität mit sich brachte.

Beim Sieben ist aufgefallen, dass in einigen der Boxen hohe Temperaturen herrschten. Diese sind vermutlich durch die Larven- und mikrobielle Aktivität entstanden. Auch hier kann über den Einfluss

lediglich spekuliert werden, da diese nicht gemessen wurden. Diese konnte vor allem bei den Wochenblöcken mit erhöhter Futtergabe beobachtet werden. Tomberlin (2009) beschrieb dazu, ein Temperaturoptimum von 27°C für die Larvenzucht. Jedoch basiert dieses auf der Einstellung der verwendeten Klimaschränke. Ob diese Temperatur auch wirklich im Larvensubstrat herrschte, ist nicht bekannt, zumal die in der Literatur verwendeten Larvendichten generell deutlich unter den hier verwendeten liegen, was wiederum einen grossen Einfluss haben dürfte. Dem Effekt der höheren Temperatur im Substrat kann aber entgegengewirkt werden. Kleinere Futtergaben oder bessere Verteilung mittels grösseren Boxen, reduzieren die Substratdicke, wodurch die Wärme besser an die Umgebung abgegeben werden kann. Als Nachteil könnte sich hier jedoch eine geringere Kontrolle über die Substratfeuchte ergeben, die ebenfalls keine unwesentliche Rolle spielen dürfte.

Es hat sich gezeigt, dass unterschiedliches Futter einen Einfluss, auf das Larvenwachstum und die Überlebensrate ausübt. Da sich unterschiedliche Futtersubstrate, bezüglich Nährstoffgehalt und physikalischen Eigenschaften unterscheiden, könnten diese eine andere Wirkung auf die Überlebensrate, das Larvengewicht sowie die Biomasse haben. Da in diesem Versuch überall gleiches Futter verwendet wurde, sollte dieser Einfluss gegenüber den Ergebnissen keine Rolle spielen.

## 8 Schlussfolgerungen

Der Versuch konnte aufzeigen, dass sich eine tiefe rLF während der ersten 24 h des ersten Larvenstadiums negativ auf die Überlebensrate auswirkt. Da die Larvenanzahl mit dem Larvengewicht korreliert, hat diese ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf das durchschnittliche Larvengewicht. Es ist zu empfehlen, eine Luftfeuchte zu wählen, welche über 50 % liegt. Luftfeuchten zwischen 60 und 70 % hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate. Luftfeuchten von über 70 % schienen sich jedoch positiv auszuwirken, obgleich statistische Unterschiede nur mit den am tiefsten gewählten Luftfeuchten abzusichern waren. Das zeigt sich deutlich, da die Überlebensrate bei 80 % am höchsten lag. Da der Versuch den Einfluss der rLF nur während der ersten 24 h untersucht hat, kann lediglich über diese Zeitspanne eine Empfehlung abgegeben werden. Ob die rLF über eine längere Zeitspanne die Larvenentwicklung positiv beeinflussen würde, müsste in einem weiteren Versuch geklärt werden. Wobei hierzu bereits einige eingangs erwähnte Literaturquellen vorliegen, die einen ähnlichen Trend aufzeigen. Wenn sich aber zeigen würde, dass vor allem während den ersten 24 h ein positiver Einfluss verzeichnet werden kann, wäre es für die Larvenaufzucht von Vorteil diese innerhalb der Zeit, bei einer rLF von 80 % zu inkubieren.

Während des Versuches konnte aufgezeigt werden, dass die zu grosse Futtermengen einen negativen Einfluss auf die Überlebensrate ausüben können. Die erhobenen Parameter Larvenanzahl, Larvengewicht und gesamte Biomasse stehen hierbei in unterschiedlich starken Abhängigkeitsverhältnissen. Bei tiefer Larvenanzahl sind das Larvengewicht und die daraus resultierende Biomasse höher. Obwohl in den Wochenblöcken IV und V eine höhere Futtermenge verabreicht wurde, konnten durchschnittlich  $18.21 \pm 9.46$  % weniger Larven ausgezählt werden. Diese Larven waren  $109.70 \pm 24.57$  % schwerer und es konnte  $55.67 \pm 3.96$  % mehr Biomasse festgestellt werden. Die Futtermenge lag um 50% höher als bei der Fütterung während der ersten Blöcke. Grosse Futtermengen in der Anfangsphase könnten sich dementsprechend nachteilig auf die Überlebensrate auswirken. So kann empfohlen werden, die Futtermenge zu Beginn möglichst klein zu halten und diese erst bei der zweiten Fütterung zu erhöhen, bis die Larven in die eigentliche Larvenmast verwendet werden können. Denn das Ziel der Larvenaufzucht wäre primär, eine hohe Larvenanzahl für die eigentliche Larvenmast zu produzieren und nicht bereits in der Entwicklung fortgeschrittene Larven zu generieren, die sich dann nach kurzer Zeit verpuppen. Die höhere Larvenanzahl kann während der Larvenmast im Endeffekt, mehr Biomasse aufbauen und zudem mehr Nahrungsmittelabfälle verwerten. Für die Larvenaufzucht wird zurzeit Hühnerfutter verwendet welches lediglich einer sicheren Aufzucht dienen sollte und nicht bereits um eine hohe Biomasse zu erhalten. Da Hühnerfutter eine wertvolle Futterkomponente ist, sollte im Sinne der Nachhaltigkeit und Effizienz so viel wie nur nötig gefüttert werden.

Der Tageseffekt ist eine kalkulierbare Schwankung deren Eindämmung momentan nur mit einer täglichen Eierernte entgegengewirkt werden kann, was mit höheren Personalkosten verbunden wäre. Da die Zucht der Schwarzen Soldatenfliege ohnehin schon sehr Arbeitsintensiv ist, sollte in Zukunft auf ein automatisches Ernteverfahren hingearbeitet werden. Dies würde eine regelmässige Schlupfrate ermöglichen, was für eine Grossproduktion von Vorteil wäre. Da man genaue Prognosen stellen könnte, wann wie viele Larven schlüpfen werden, um diesen dann eine perfekt abgestimmte Futtermenge für die Aufzucht und spätere Mast zu geben.

---

## 9 Literaturverzeichnis

- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly ( *Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>
- Barros-Cordeiro, K. B., B  o, S. N., & Pujol-Luz, J. R. (2014). Intra-Puparial Development of the Black Soldier-fly, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science*, 14. <https://doi.org/10.1673/031.014.83>
- Booth, D. C., & Sheppard, C. (1984, April). Oviposition of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*(Diptera: Stratiomyidae): Eggs, Masses, Timing, and Site Characteristics. Abgerufen 5. September 2017, von [https://www.researchgate.net/publication/233626144\\_Oviposition\\_of\\_the\\_Black\\_Soldier\\_Fly\\_Hermetia\\_illucensDiptera\\_Stratiomyidae\\_Eggs\\_Masses\\_Timing\\_and\\_Site\\_Characteristics](https://www.researchgate.net/publication/233626144_Oviposition_of_the_Black_Soldier_Fly_Hermetia_illucensDiptera_Stratiomyidae_Eggs_Masses_Timing_and_Site_Characteristics)
- Briscoe, A. D., & Chittka, L. (2001). The evolution of color vision in insects. *Annual review of entomology*, 46(1), 471–510.
- Burtle, G., Newton, G. L., Sheppard, D. C., & Campus, T. (2012). Mass Production of Black Soldier Fly Pre pupae for Aquaculture Diets. *A Manuscript for Aquaculture International. University of Georgia, Tifton Campus, Tifton, GA*. Abgerufen von <http://www.caes.uga.edu/content/dam/caes-website/extension-outreach/commodities/aquaculture/docs/soldier-fly-magazine-article.pdf>
- Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2017). The Impact of Diet Protein and Carbohydrate on Select Life-History Traits of The Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Insects*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/insects8020056>
- Craig Sheppard, D., Larry Newton, G., Thompson, S. A., & Savage, S. (1994). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*, 50(3), 275–279. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3)

- De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., ... Schiavone, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 211–218.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>
- Diclaro, J. W., & Kaufman, P. E. (2009). Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). *EENY*, 461, 1–3.
- Diener, S., Studt Solano, N. M., Roa Gutiérrez, F., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological Treatment of Municipal Organic Waste using Black Soldier Fly Larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>
- Doppelreiter, F. (2016). Insekten als Futtermittel, Trends und rechtliche Probleme Insects as feed, trends and legal challenges. In *Eiweißpflanzen - Strategien und Chancen für Landwirtschaft und Industrie*. Bildungshaus Schloss Krastowitz: RepaCopy Wien DC, Triesterstraße 122, 1230 Wien. Abgerufen von [https://www.alva.at/images/Publikationen/Tagungsband/Tagungsband\\_2016.pdf](https://www.alva.at/images/Publikationen/Tagungsband/Tagungsband_2016.pdf)
- Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide*. Dübendorf, Switzerland: Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Abgerufen von [http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_HR.pdf](http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_HR.pdf)
- Dossey, A. T., Morales-Ramos, J. A., & Guadalupe Rojas, M. (2016). *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Oxford: Elsevier LTD, Oxford. Abgerufen von [https://www.orellfuessli.ch/shop/home/artikeldetails/insects\\_as\\_sustainable\\_food\\_ingredients/m\\_guadalupe\\_rojas/ISBN0-12-802856-4/ID45571763.html](https://www.orellfuessli.ch/shop/home/artikeldetails/insects_as_sustainable_food_ingredients/m_guadalupe_rojas/ISBN0-12-802856-4/ID45571763.html)
- Fatchurochim, S., Geden, C. J., & Axtell, R. C. (1989). Filth fly (Diptera) oviposition and larval development in poultry manure of various moisture levels. *Journal of Entomological Science*, 24(2), 224–231.



- Gobbi, P., Martinez-Sanchez, A., & Rojo, S. (2013). The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *European Journal of Entomology*, 110(3), 461–468. <https://doi.org/10.14411/eje.2013.061>
- Harnden, L. M., & Tomberlin, J. K. (2016). Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development. *Forensic Science International*, 266, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.007>
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L., & Tomberlin, J. K. (2012). Relative Humidity Effects on the Life History of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 41(4), 971–978. <https://doi.org/10.1603/EN12054>
- Holmes, L. A., VanLaerhoven, S. L., & Tomberlin, J. K. (2016). Lower temperature threshold of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) development. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(4), 255–262. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0008>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Newton, G. L., Sheppard, D. C., Watson, D. W., Burtle, G. J., Dove, C. R., Tomberlin, J. K., & Thelen, E. E. (2005). The black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a manure management/resource recovery tool. In *Symposium on the state of the science of Animal Manure and Waste Management* (S. 5–7). Abgerufen von [https://www.researchgate.net/profile/Gary\\_Burtle/publication/237345975\\_The\\_black\\_soldier\\_fly\\_Hermetia\\_illucens\\_as\\_a\\_manure\\_managementresource\\_recovery\\_tool/links/02e7e528f545232968000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gary_Burtle/publication/237345975_The_black_soldier_fly_Hermetia_illucens_as_a_manure_managementresource_recovery_tool/links/02e7e528f545232968000000.pdf)
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D. W., Burtle, G., & Dove, R. (2005). Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. *Animal and Poultry Waste*

- Management Center, North Carolina State University, Raleigh, NC, 17*. Abgerufen von <http://www.urbantilth.org/wp-content/uploads/2008/09/soldierfly-swine-manure-management.pdf>
- Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. *Environmental Entomology*, 44(2), 406–410.  
<https://doi.org/10.1093/ee/nvv002>
- Oliveira, F., Doelle, K., List, R., & O'Reilly, J. R. (2015). Assessment of Diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* (L., 1758) using electron microscopy. *J. Entomol. Zool. Stud*, 3(5), 147–152.
- Oonincx, D. G. A. B., BelucpLicp, G., Loon, J. J. A. van, Diehl, J. J. E., & Volk, N. (2016). Photoreceptor spectral sensitivity of the compound eyes of black soldier fly (*Hermetia illucens*) informing the design of LED-based illumination to enhance indoor reproduction. *Journal of Insect Physiology*, 95(95).
- Park, H. H. (2016). Black Soldier Fly Larvae Manual. Abgerufen von [http://scholarworks.umass.edu/sustainablemass\\_studentshowcase/14/?utm\\_source=scholarworks.umass.edu%2Fsustainablemass\\_studentshowcase%2F14&utm\\_medium=PDF&utm\\_campaign=PDFCoverPages](http://scholarworks.umass.edu/sustainablemass_studentshowcase/14/?utm_source=scholarworks.umass.edu%2Fsustainablemass_studentshowcase%2F14&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages)
- Prota™Culture. (2011, April). Microsoft Word - BioPod-Plus-Manual.doc - BioPod™+Plus+Manual.pdf. Abgerufen 14. August 2017, von <http://gnz-group.eu/wp-content/uploads/BioPod%E2%84%A2+Plus+Manual.pdf>
- R: The R Project for Statistical Computing. (o. J.). Abgerufen 5. September 2017, von <https://www.r-project.org/>
- Rana, K. S., Salam, M. A., Hashem, S., & Islam, M. A. (2015). Development of Black Soldier Fly Larvae Production Technique as an Alternate Fish Feed. Abgerufen von [https://www.researchgate.net/profile/Shaharior\\_Hashem/publication/276094406\\_Development\\_of\\_Black\\_Soldier\\_Fly\\_Larvae\\_Production\\_Technique\\_as\\_an\\_Alternate\\_Fish\\_Feed/links/5550c8d608ae956a5d25d4ca/Development-of-Black-Soldier-Fly-Larvae-Production-Technique-as-an-Alternate-Fish-Feed.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shaharior_Hashem/publication/276094406_Development_of_Black_Soldier_Fly_Larvae_Production_Technique_as_an_Alternate_Fish_Feed/links/5550c8d608ae956a5d25d4ca/Development-of-Black-Soldier-Fly-Larvae-Production-Technique-as-an-Alternate-Fish-Feed.pdf)

- Roháček, J., & Hora, M. (2013). A northernmost European record of the alien black soldier fly *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)(Diptera: Stratiomyidae)/Nejsevernější evropský výskyt nepůvodní bráněnky *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)(Diptera: Stratiomyidae). *Casopis slezského zemskeho muzea (A)*, 62(2), 101–106.
- Rozkosný, R. (1983). *Biosystematic Study of the European Stratiomyidae (Diptera): Volume 2- Clitellariinae, Hermediinae, Pachygasterinae and Bibliography*. (Bd. Volume 2).
- Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., ... Dalle Zotte, A. (2017). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae ( *Hermetia illucens* L. ) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 93–100.  
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1249968>
- Sripontan, Y., Juntavimon, T., Songin, S., & Chiu, C.-I. (2017). Egg-trapping of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.)(Diptera: Stratiomyidae) with various wastes and the effects of environmental factors on egg-laying. Abgerufen von [https://www.researchgate.net/profile/Yuwatida\\_Sripontan2/publication/314204690\\_Egg-trapping\\_of\\_black\\_soldier\\_fly\\_Hermetia\\_illucens\\_L\\_Diptera\\_Stratiomyidae\\_with\\_various\\_wastes\\_and\\_the\\_effects\\_of\\_environmental\\_factors\\_on\\_egg-laying/links/58b983baaca27261e51d6c0d/Egg-trapping-of-black-soldier-fly-Hermetia-illucens-L-Diptera-Stratiomyidae-with-various-wastes-and-the-effects-of-environmental-factors-on-egg-laying.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yuwatida_Sripontan2/publication/314204690_Egg-trapping_of_black_soldier_fly_Hermetia_illucens_L_Diptera_Stratiomyidae_with_various_wastes_and_the_effects_of_environmental_factors_on_egg-laying/links/58b983baaca27261e51d6c0d/Egg-trapping-of-black-soldier-fly-Hermetia-illucens-L-Diptera-Stratiomyidae-with-various-wastes-and-the-effects-of-environmental-factors-on-egg-laying.pdf)
- St. -Hilaire, S. (2009). Black soldier fly larvae as a tool for managing animal waste and providing a food source for the aquaculture industry. *Pocatello, ID : Idaho State University, Department of Biological Sciences, 2009*.
- Tomberlin, J. K., Adler, P. H., & Myers, H. M. (2009). Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature. *Environmental Entomology*, 38(3), 930–934.  
<https://doi.org/10.1603/022.038.0347>

- Tomberlin, J. K., & Sheppard, D. C. (2002, Oktober). Factors Influencing Mating and Oviposition of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) in a Colony [research-article]. Abgerufen 11. August 2017, von <http://gaentsoc.org/doi/abs/10.18474/0749-8004-37.4.345>
- van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., Van Huis, A., Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., & Van Boekel, T. (2012). *Insects as a Sustainable Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets: a Feasibility Study= Insecten als duurzame diervoedergrondstof in varkens-en pluimveevoeders: een haalbaarheidsstudie*. Wageningen UR Livestock Research. Abgerufen von <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/428703>
- Wigglesworth, V. B. (1984). *Insect Physiology* (Bd. 22). Netherlands: Springer. Abgerufen von [https://books.google.com/books/about/Insect\\_Physiology.html?hl=de&id=fUsB\\_W4sp6kC](https://books.google.com/books/about/Insect_Physiology.html?hl=de&id=fUsB_W4sp6kC)
- Zhang, J., Huang, L., He, J., Tomberlin, J. K., Li, J., Lei, C., ... Yu, Z. (2010). An Artificial Light Source Influences Mating and Oviposition of Black Soldier Flies, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science*, 10. <https://doi.org/10.1673/031.010.20201>
- Zhou, F., Tomberlin, J. K., Zheng, L., Yu, Z., & Zhang, J. (2013). Developmental and Waste Reduction Plasticity of Three Black Soldier Fly Strains (Diptera: Stratiomyidae) Raised on Different Livestock Manures. *Journal of Medical Entomology*, 50(6), 1224–1230. <https://doi.org/10.1603/ME13021>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Vorkommen von <i>Hermetia illucens</i> (Rozkosný, 1983).....	12
Abbildung 2: Fundorte von <i>Hermetia illucens</i> in Europa und Nahost. (Roháček & Hora, 2013).....	13
Abbildung 3 Ei-Gelege der Schwarzen Soldatenfliege (Park, 2016). ....	14
Abbildung 4 Lave im Vorpuppenstadium (Park, 2016) .....	15
Abbildung 5 Detailaufnahme des Larvenkopfs a) und b) (Oliveira u. a., 2015). ....	16
Abbildung 6 Frontalansicht des Kopfes mit Saugrüssel, unter dem (REM) (Oliveira u. a., 2015).....	17
Abbildung 7 Schematische Darstellung einer Anlage mit dem Selbsternteverfahren (Newton u. a., 2005). ....	18
Abbildung 8 Kleine Kompostiereinheit BioPod™, welches als Selbsternteverfahren fungiert (Prota™Culture, 2011). ....	19
Abbildung 9 Schematische Darstellung eines Mastbetriebs für Larven der Schwarzen Soldatenfliege (Dortmans u. a., 2017).....	20
Abbildung 10 Homogenisierter Nahrungsbrei (Dortmans u. a., 2017).....	20
Abbildung 11 Mit Eiern befüllter Träger (Dortmans u. a., 2017) .....	20
Abbildung 12 Heranwachsende Larven( (Dortmans u. a., 2017).....	21
Abbildung 13 Mechanisches Sieb für die Larvenernte (Dortmans u. a., 2017).....	21
Abbildung 14 Pelletpresse für Verarbeitung von Larvenmehl (Dortmans u. a., 2017).....	21
Abbildung 15 Paarungsverhalten der Schwarzen Soldatenfliege, unter verschiedenen Lichtquellen (Zhang u. a., 2010).	25
Abbildung 16 Mortalitätsrate im Fütterungsversuch mit Hühnerfutter (H), Fleischmehl (M) und einem Mix von Hühnerfutter mit Fleischmehl (M+H) (Gobbi u. a., 2013). ....	28
Abbildung 17 Einfluss verschiedener Futter, Hühnerfutter (H), Fleischmehl (M) und Mix Hühnerfutter mit Fleischmehl (M+H) auf die Entwicklungsdauer des Larven- und Puppenstadiums (Gobbi u. a., 2013). ....	29
Abbildung 18 Grösse von adulten Tieren im Futtersuch mit drei verschiedenen Futtern (H=Hühnerfutter, M+H=Fleischmehl und Hühnerfutter, M=Fleischmehl)(Gobbi u. a., 2013). ....	29
Abbildung 19 Gewichtszunahme in Wochen mit Futter „Kuhmist“ und „Lebensmittelabfällen“ (Oliveira u. a., 2015).....	30
Abbildung 20 Gewichtszunahme der Larven unter Fütterung von verschiedenen Futtersubstraten (Nguyen u. a., 2015)	31
Abbildung 21 Käfige für die Fortpflanzung und Eiernte am Standort Gipf-Oberfrick (A.Dubsky).....	34
Abbildung 22 Prinzip der hatchling-shower. Eikartons mit Eiern befinden sich über einer Box mit Futtersubstrat. Die Geschlüpften Larven Fallen auf das Substrat (A. Dubsky).....	35
Abbildung 23 Eierkarton mit frischen Eigelegen (A.Dubsky) .....	36
Abbildung 24 Theoretisch ermittelte Tagesschlupfrate über 2 Wochen gesehen, bei einer 3maligen Ernte pro Woche von je 400'000 Eiern. ....	37
Abbildung 25 Futterzubereitung mit Hühnerfutter und Wasser (A. Dubsky) .....	39
Abbildung 26 Frischgeschlüpfte Larven türmen sich zu Hügeln auf während der ersten 24 h (A. Dubsky) .....	40

---

Abbildung 27 Siebvorgang mit unterschiedlichen Siebgrößen (A. Dubsky) .....	41
Abbildung 28 Von links nach rechts die Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80 (A. Dubsky) .....	42
Abbildung 29 Mittelwert der Temperatur und relative Luftfeuchte über die Versuchszeit .....	44
Abbildung 30 Übersicht über die Temperatur und Luftfeuchtemessung während der Versuchsphase .....	44
Abbildung 31 Wochenblöcke I-V mit der Anzahl Larven der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80, mit normaler Futtermenge (weiss) und erhöhter Futtermenge (grau). .....	46
Abbildung 32 Wochenblöcke I-V mit dem durchschnittlichem Larvengewicht der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80, mit normaler Futtermenge (weiss) und erhöhter Futtermenge (grau). .....	48
Abbildung 33 Wochenblöcke I-V mit der durchschnittlich generierten Biomasse, der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80, mit normaler Futtermenge (weiss) und erhöhter Futtermenge (grau). .....	50
Abbildung 34 Korrelation zwischen Larvenanzahl und Larvengewicht, aller ausgezählten Proben mit normaler Futtermenge (schwarz) und erhöhter Futtermenge (rot).....	51
Abbildung 35 Korrelation zwischen Biomasse und Larvengewicht, aller ausgezählten Proben mit normaler Futtermenge (schwarz) und erhöhter Futtermenge (rot).....	51
Abbildung 36 Korrelation zwischen Larvenanzahl und Biomasse, aller ausgezählten Proben mit normaler Futtermenge (schwarz) und erhöhter Futtermenge (rot).....	51
Abbildung 37 Verkrustete Oberfläche mit leichtem Schimmelbefall. ....	54
Abbildung 38 Übersicht über die Aufzeichnung der Datenlogger über die gesamte Versuchsdauer ungefiltert.....	77

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Geeignete Abfallstoffe für die Produktion von BSFL (Dortmans u. a., 2017).....	26
Tabelle 2 Rohprotein- (CP) und Rohfett-Gehalt (CF) der BSFL, in Abhängigkeit des Futtersubstrats (Barragan-Fonseca u. a., 2017).....	31
Tabelle 3 Zusammensetzung des Nährstoffgehalts der BSFL, in Abhängigkeit des Futtersubstrats (Barragan-Fonseca u. a., 2017).....	32
Tabelle 4 Futtermischung für die trail I-III und erhöhter Futtermenge für trail IV-V.....	39
Tabelle 5 Durchschnittliche Erntemenge der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80. Die blauen Daten mit dem Zeitraum vom 01.03-17.03 beinhaltet die Wochenblöcke I-III, mit normaler Futtergabe und die orangen Daten mit dem Zeitraum vom 22.03-31.03 beinhalten die Wochenblöcke IV-V, mit erhöhter Futtergabe. ....	45
Tabelle 6 Durchschnittliches Larvengewicht der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80. Die blauen Daten mit dem Zeitraum vom 01.03-17.03 beinhaltet die Wochenblöcke I-III, mit normaler Futtergabe und die orangen Daten mit dem Zeitraum vom 22.03-31.03 beinhalten die Wochenblöcke IV-V, mit erhöhter Futtergabe. ....	47
Tabelle 7 Durchschnittlich Biomasse pro Erntedurchgang, der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80. Die blauen Daten mit dem Zeitraum vom 01.03-17.03 beinhaltet die Wochenblöcke I-III, mit normaler Futtergabe und die orangen Daten mit dem Zeitraum vom 22.03-31.03 beinhalten die Wochenblöcke IV-V, mit erhöhter Futtergabe. ....	49
Tabelle 8 Zusammenfassung der Resultate. Die Tabelle zeigt horizontal gelesen, bei welcher relativen Luftfeuchte und bei welcher Futtermenge ein Unterschied in der Larvenanzahl, dem Larvengewicht, respektive der Biomasse festgestellt werden konnte. Die Bezeichnung „ab“ bedeutet, dass kein signifikanter Unterschied zu anderen Gruppen gefunden wurde. Hingegen konnte statistisch belegt werden, dass sich die mit a bezeichneten Gruppen von den b Gruppen unterscheiden. ....	50
Tabelle 9 Zeitplan des Versuches mit den Wochenblöcke I-V .....	68
Tabelle 10 Futtermenge der Wochenblöcke I-V .....	70
Tabelle 11 Erhobene Daten der Versuchsdauer .....	71
Tabelle 12 Theoretische Schlupfrate, Überlebensrate mit Tageseffekt.....	73
Tabelle 13 Tagesmittelwerte der Klimadaten der Tage, an denen die Klimaschränke mit Versuchsboxen belegt waren. ....	77

## Anhang

## A) Zeitplan Versuchsdurchführung

Tabelle 9 Zeitplan des Versuches mit den Wochenblöcke I-V

Hatching: Shower / hatch rate		trial I							trial II						
Incubation: 400000		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
1. Eiererte	E			E		E			E		E		E		
2. Kartons portionieren und auf HS <sub>1</sub> ggf. 7 Tage alte Kartons entfernen	5*400'			5*400'		5*400'			5*400'		5*400'		5*400'		
3. HS-TW mit Startsubstrat unterstellen				HS/H/A-0	HS/H/B-0	HS/H/C-0			HS/H/A-0	HS/H/B-0	HS/H/C-0		HS/H/A-0	HS/H/B-0	HS/H/C-0
4. HS-TW mit Startsubstrat+Baby-larven entnehmen; mit Deckel in KS zusammen				HS/H/A-1	HS/H/B-1	HS/H/C-1			HS/H/A-1	HS/H/B-1	HS/H/C-1		HS/H/A-1	HS/H/B-1	HS/H/C-1
5. HS-TW mit Startsubstrat+ST-Larven aus KS; Deckel entfernen; 2. Fütteration, auf Regal									HS/H/A-5	HS/H/B-5	HS/H/C-5		HS/H/A-7	HS/H/B-7	HS/H/C-7
6. HS-TW mit Startsubstrat+T-Larven austreiben; auswiegen; auszählen															
<b>Legende:</b>															
HS = Hatching shower; HS-TW = Tupperware mit blauen Deckel+Gaze; KS = Klimoschrank															
grau: Arbeiten am Tablette im weissen Fliegenzucht-Container															
grün-blau: Arbeiten die am Tablette beginnen und am FBL weiter geführt werden															
blau: Arbeiten am FBL (mit Ausnahme Klimoschrank 70%)															
blau-grün: Arbeiten die am FBL beginnen und am Tablette weiter geführt werden															
1. Eiererte: Entnahme der Weibchenpupen mit frisch gelegten Hühnerküken und evtl. Einzelberechnung durch Fachpersonal															
2. Aufteilung und Portionierung zu fünf mal je 400'000 Eier; werden zum FBL transportiert; Kartonsportionen aufpassen; auf die Hatching-Shower (HS) in den jeweiligen KS aufliegen - zeitgleich mit fünf HS am Tablette durch Fachpersonal; ggf. 7 Tage alte Kartons entfernen.															
3. Je eine Tupperware (HS-TW) mit wässrigen Hühnerküken nach Rezeptur (Startsubstrat) unter die aufgegebenen Kartons stellen (Tag 0).															
4. Die HS-TWs mit Startsubstrat und den frisch geschlüpften Baby-larven entnehmen; kükenlos mit Gaze-Deckel verschliessen und in grossen KS bei 70% rF auf einer Ebene zusammenführen; Indusie der HS-TW vom Tablette (Tag 1).															
5. Die fünf HS-TWs mit Startsubstrat und 5-Tage-Larven aus KS entnehmen und zum Tablette transportieren; die Deckel entfernen; die 2. Fütteration nach Rezeptur dazu geben und öffnen auf einer Ebene im Regal lagern (Tag 5).															
6. Die fünf getrockneten HS-TWs mit Startsubstrat+7-Tage-Larven austreiben, wiegen und auszählen (Tag 7).															



69

**B) Futterzusammensetzung***Tabelle 10 Futtermenge der Wochenblöcke I-V*

<b>Wochenblock I-III Futtermenge a</b>	<b>1. Fütterung (Tag 0)</b>	<b>2.Fütterung (Tag 5)</b>
<b>HS-400'000</b>	325 g Hühnerfutter 630 ml Wasser 33g Schleimi	275 g Hühnerfutter 455 ml Wasser
<b>Wochenblock IV-V Futtermenge b</b>	<b>1. Fütterung (Tag 0)</b>	<b>2.Fütterung (Tag 5)</b>
<b>HS-400'000</b>	450g Hühnerfutter 860 ml Wasser 45g Schleimi	450 g Hühnerfutter 720 ml Wasser

## C) Larvenzählformular

Tabelle 11 Erhobene Daten der Versuchsdauer

Larvenauszählformular: Hatchling-Shower relative Luftfeuchte - trail I-II+III										
Code	Datum			Gesamtgewicht Rs+La	Gesamtgewicht Rs.	Gesamtgewicht La.	Probengewicht	ausgezählte La.	Durchschnitt La.	Gesamtanzahl La.
Eier: 400000	Geburt	Umsetzung	Auszählung	G (in g)	G-Rs (in g)	G-La (in g)	P (in g)	A	(P/A) (in g)	(G-La*A/P)
HSrH-I/A-40	22.02.	27.02.	01.03.		388.71	285.55	3.55	438	0.008105	35231
HSrH-I/A-50	22.02.	27.02.	01.03.		388.76	320.62	3.33	989	0.003367	95223
HSrH-I/A-60	22.02.	27.02.	01.03.		499.6	193.61	3.33	1348	0.0024703	78374
HSrH-I/A-70	22.02.	27.02.	01.03.		471.67	250.33	3.44	1537	0.0022381	111848
HSrH-I/A-80	22.02.	27.02.	01.03.		463.59	257.49	3.44	2027	0.001697	151724
HSrH-I/B-40	23.02.	28.02.	02.03.		436.72	207.06	3.36	1072	0.0031343	66062
HSrH-I/B-50	23.02.	28.02.	02.03.		542.5	273.37	3.33	1959	0.0016998	160820
HSrH-I/B-60	23.02.	28.02.	02.03.		398.05	261.41	3.33	1952	0.0017099	153234
HSrH-I/B-70	23.02.	28.02.	02.03.		523.01	281.72	3.38	757	0.0044649	63095
HSrH-I/B-80	23.02.	28.02.	02.03.		534.55	304.86	3.32	1375	0.0024145	126259
HSrH-I/C-40	24.02.	01.03.	03.03.	734.85	334.98	347.11	3.33	1052	0.00316539	109657
HSrH-I/C-50	24.02.	01.03.	03.03.	725.54	325.29	341.21	3.33	1283	0.0025954	131463
HSrH-I/C-60	24.02.	01.03.	03.03.	805.5	397.79	331.99	3.34	1086	0.003075	107946
HSrH-I/C-70	24.02.	01.03.	03.03.	938.2	610.28	197.92	5.29	236	0.0224152	8829
HSrH-I/C-80	24.02.	01.03.	03.03.	842.7	395.99	356.54	3.34	1402	0.0023823	149661
HSrH-II/A-40	01.03.	05.03.	08.03.	678.09	392.54	285.55	3.61	1033	0.003552759	81710
HSrH-II/A-50	01.03.	05.03.	08.03.	669.9	517.6	152.3	3.28	2312	0.0014186	107352
HSrH-II/A-60	01.03.	05.03.	08.03.	756.61	543.38	213.23	3.24	2134	0.0015194	140442
HSrH-II/A-70	01.03.	05.03.	08.03.	719.76	468.88	250.88	3.34	1776	0.001880651	133402
HSrH-II/A-80	01.03.	05.03.	08.03.	860.34	577.9	282.44	3.29	1062	0.011648	91170
HSrH-II/B-40	02.03.	06.03.	9.03.	662.87	356.24	234.84	3.32	1667	0.0019916	117915
HSrH-II/B-50	02.03.	06.03.	9.03.	767.82	345.72	332.19	3.3	2094	0.001575	210789
HSrH-II/B-60	02.03.	06.03.	9.03.	802.5	385.57	316.86	3.3	1475	0.002237	141626
HSrH-II/B-70	02.03.	06.03.	9.03.	815.2	474.58	331.83	3.16	1271	0.0024862	133467
HSrH-II/B-80	02.03.	06.03.	9.03.	973.5	380.17	348.64	3.25	1418	0.002291	152114
HSrH-II/C-40	03.03.	08.03.	10.03.	728.2	265.18	405.51	3.33	918	0.00362	111789
HSrH-II/C-50	03.03.	08.03.	10.03.	733	263.9	412.46	3.26	824	0.003956	104253
HSrH-II/C-60	03.03.	08.03.	10.03.	752.14	372.6	317.77	3.28	922	0.0035574	89324
HSrH-II/C-70	03.03.	08.03.	10.03.	676.2	280.81	359.76	3.3	1155	0.0028571	125916
HSrH-II/C-80	03.03.	08.03.	10.03.	790.2	320.73	376.39	3.25	1152	0.0028298	133486
HSrH-III/A-40	08.03.	10.03.	15.03.	669.28	280.95	358.38	3.29	896	0.0036718	97601
HSrH-III/A-50	08.03.	10.03.	15.03.	703.05	275.36	391.46	3.36	1045	0.0032153	121748
HSrH-III/A-60	08.03.	10.03.	15.03.	734.1	347.57	354.15	3.37	494	0.0068218	51914
HSrH-III/A-70	08.03.	10.03.	15.03.	666.84	296	340.04	3.37	1210	0.00278512	122092
HSrH-III/A-80	08.03.	10.03.	15.03.	678.36	303.7	340	3.32	1231	0.00269699	126066
HSrH-III/B-40	09.03.	14.03.	16.03	651.53	329.6	298.59	3.23	1160	0.00278448	107234
HSrH-III/B-50	09.03.	14.03.	16.03	662.24	320.89	287.26	3.02	1472	0.00205163	140015
HSrH-III/B-60	09.03.	14.03.	16.03	679.8	326.22	322.83	3.32	1446	0.00229598	140606
HSrH-III/B-70	09.03.	14.03.	16.03	759.18	361.54	325.22	3.31	1499	0.00220813	147282
HSrH-III/B-80	09.03.	14.03.	16.03	695.98	300.8	334.93	3.18	1839	0.001729201	193691
HSrH-III/C-40	10.03.	15.03.	17.03.	723.05	307.38	375.38	3.25	1063	0.003057385	122778
HSrH-III/C-50	10.03.	15.03.	17.03.	669.72	341.95	293.1	3.19	1507	0.002116788	138464
HSrH-III/C-60	10.03.	15.03.	17.03.	825	332.19	386.91	3.31	1023	0.00323558	119580
HSrH-III/C-70	10.03.	15.03.	17.03.	673.48	330.15	291.22	3.15	1894	0.001663147	175102
HSrH-III/C-80	10.03.	15.03.	17.03.	676.67	330.05	314.36	3.25	1177	0.00276125	113847

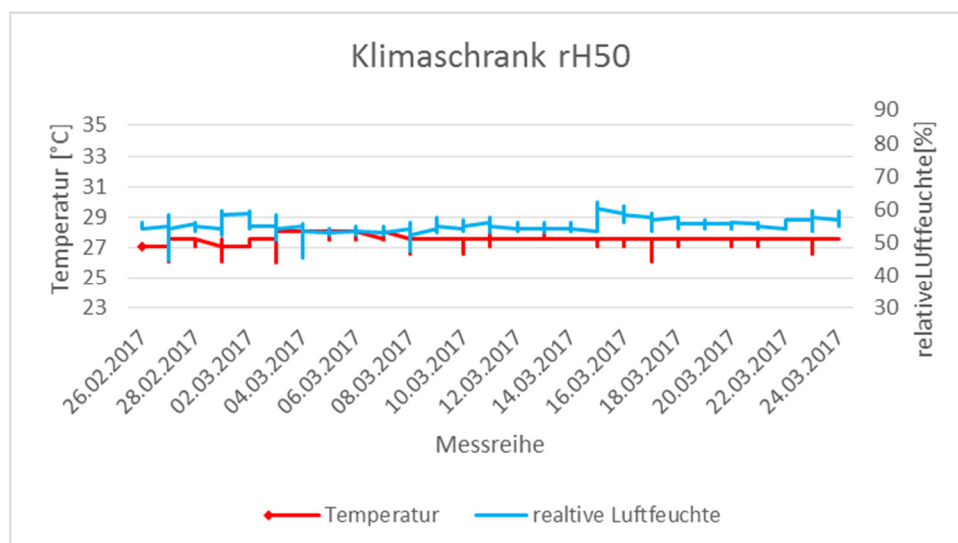
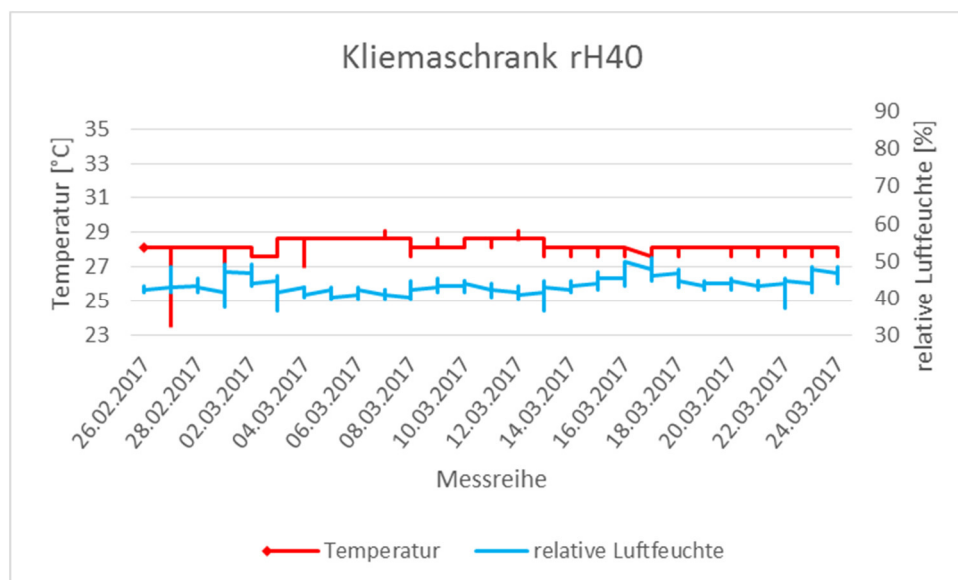
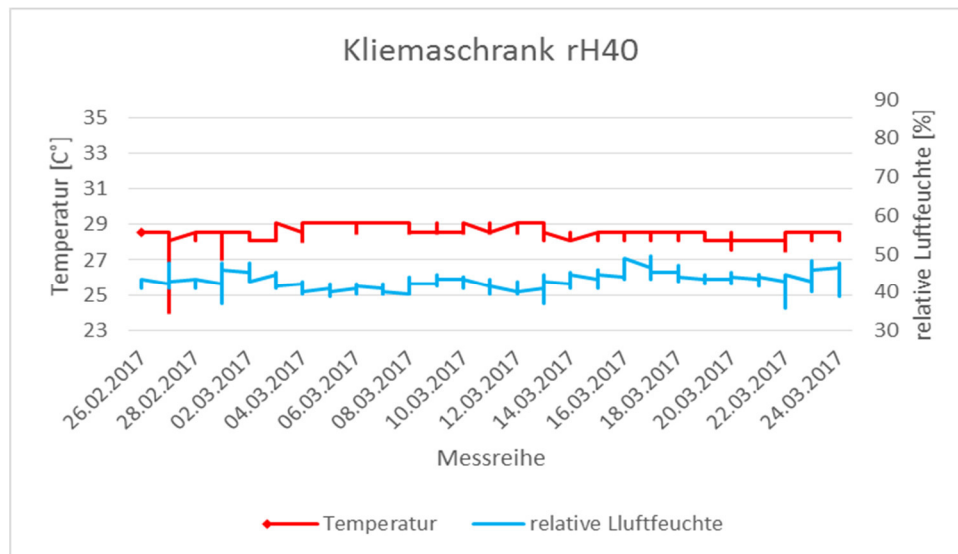
Larvenauszählformular: Hatchling-Shower relative Luftfeuchte - trail III+IV									Fütterung T1:	
Code	Datum			Gesamtgewicht	Gesamtgewicht	Gesamtgewicht	Probengewicht	ausgezählte La.	Durchschnitt La.	Gesamtan
Eier: 400000	Geburt	Umsetzung	Auszählung	G (in g)	G-Rs (in g)	G-La (in g)	P (in g)	A	(P/A) (in g)	G-La*A/P)
HSrH-IV/A-40	15.03.	20.03.	22.03.	11747.5	999.3	312.7	3.25	486	0.0066872	46760.6
HSrH-IV/A-50	15.03.	20.03.	22.03.	1762.4	827.8	374.3	3.29	1004	0.0032768	114224
HSrH-IV/A-60	15.03.	20.03.	22.03.	1481.8	795.07	511.48	3.33	589	0.0056536	90468
HSrH-IV/A-70	15.03.	20.03.	22.03.	1472.9	820.91	465.65	3.35	555	0.00603605	77145
HSrH-IV/A-80	15.03.	20.03.	22.03.	1489.1	780.71	523.25	3.38	787	0.00429479	121833.7
HSrH-IV/B-40	16.03.	21.03.	23.03.	1313.2	632.97	555.19	4.04	1010	0.004	138797
HSrH-IV/B-50	16.03.	21.03.	23.03.	1395.1	309.97	548.29	4.02	828	0.004855	112931.6
HSrH-IV/B-60	16.03.	21.03.	23.03.	1393.2	1038.2	581.82	4.08	778	0.005244216	110945.1
HSrH-IV/B-70	16.03.	21.03.	23.03.	1372.9	716.89	479.05	4.08	1163	0.0035081	136552.7
HSrH-IV/B-80	16.03.	21.03.	23.03.	1501.9	874.3	430.72	4.04	1244	0.0032475	132627.6
HSrH-IV/C-40	17.03.	22.03.	24.03.	1496.4	732.15	594.13	4.06	748	0.005427807	109460.4
HSrH-IV/C-50	17.03.	22.03.	24.03.	1393.4	643.16	575.53	4.07	1003	0.00405782	141832.1
HSrH-IV/C-60	17.03.	22.03.	24.03.	1063.8	495.91	518.77	3.98	834	0.00477218	108707.1
HSrH-IV/C-70	17.03.	22.03.	24.03.	1489.5	758.32	523.97	4.08	853	0.0047831	109336.6
HSrH-IV/C-80	17.03.	22.03.	24.03.	1452.3	700.39	585.57	4.03	908	0.00443832	131934.9
HSrH-V/A-40	22.03.	27.03.	29.03.	678.09	392.54	285.55	3.61	1033	0.003552759	81710
HSrH-V/A-50	22.03.	27.03.	29.03.	669.9	517.6	152.3	3.28	2312	0.0014186	107352
HSrH-V/A-60	22.03.	27.03.	29.03.	756.61	543.38	213.23	3.24	2134	0.0015194	140442
HSrH-V/A-70	22.03.	27.03.	29.03.	719.76	468.88	250.88	3.34	1776	0.001880651	133402
HSrH-V/A-80	22.03.	27.03.	29.03.	860.34	577.9	282.44	3.29	1062	0.011648	91170
HSrH-V/B-40	23.03.	28.03.	30.03.	662.87	356.24	234.84	3.32	1667	0.0019916	117915
HSrH-V/B-50	23.03.	28.03.	30.03.	767.82	345.72	332.19	3.3	2094	0.001575	210789
HSrH-V/B-60	23.03.	28.03.	30.03.	802.5	385.57	316.86	3.3	1475	0.002237	141626
HSrH-V/B-70	23.03.	28.03.	30.03.	815.2	474.58	331.83	3.16	1271	0.0024862	133467
HSrH-V/B-80	23.03.	28.03.	30.03.	973.5	380.17	348.64	3.25	1418	0.002291	152114
HSrH-V/C-40	24.03.	29.03.	31.03.	728.2	265.18	405.51	3.33	918	0.00362	111789
HSrH-V/C-50	24.03.	29.03.	31.03.	733	263.9	412.46	3.26	824	0.003956	104253
HSrH-V/C-60	24.03.	29.03.	31.03.	752.14	372.6	317.77	3.28	922	0.0035574	89324
HSrH-V/C-70	24.03.	29.03.	31.03.	676.2	280.81	359.76	3.3	1155	0.0028571	125916
HSrH-V/C-80	24.03.	29.03.	31.03.	790.2	320.73	376.39	3.25	1152	0.0028298	133486

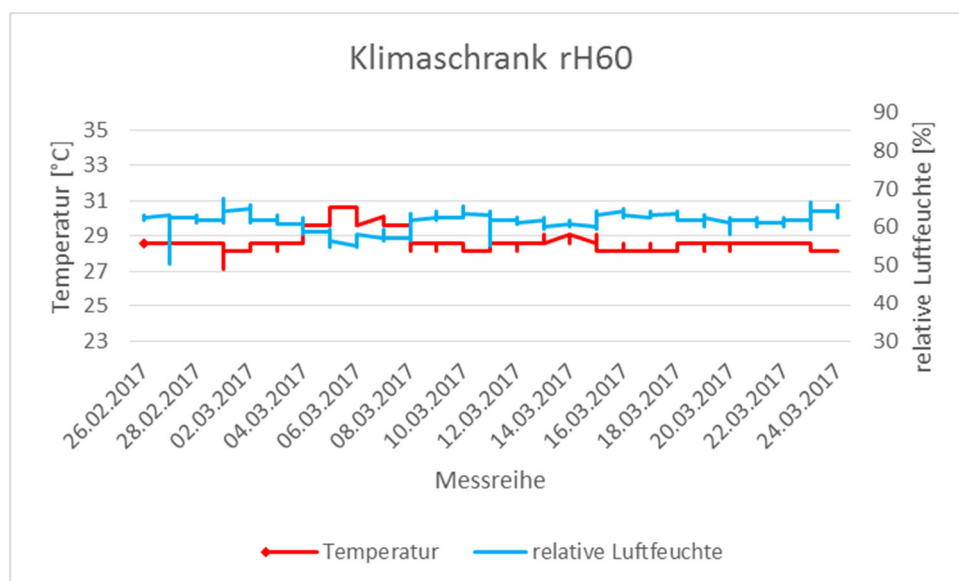
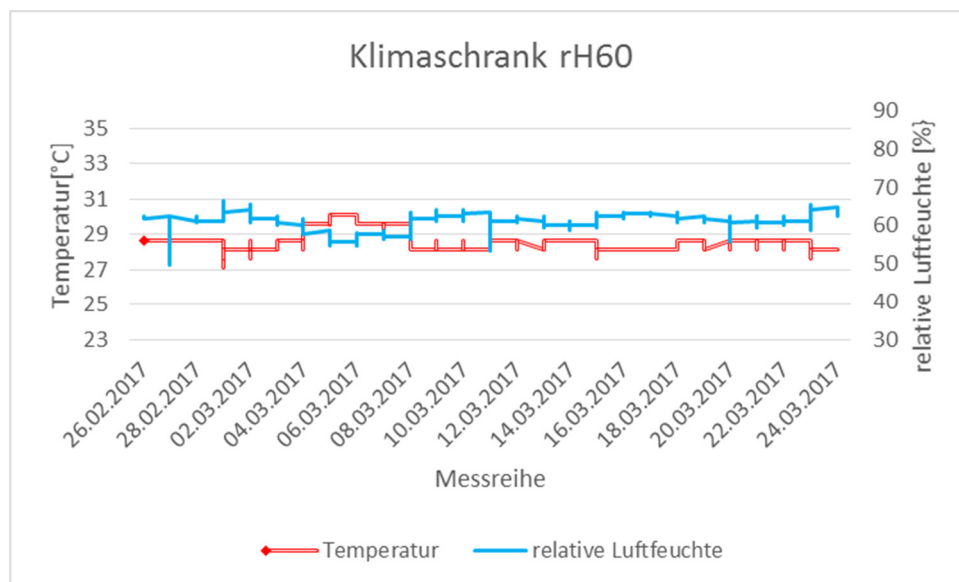
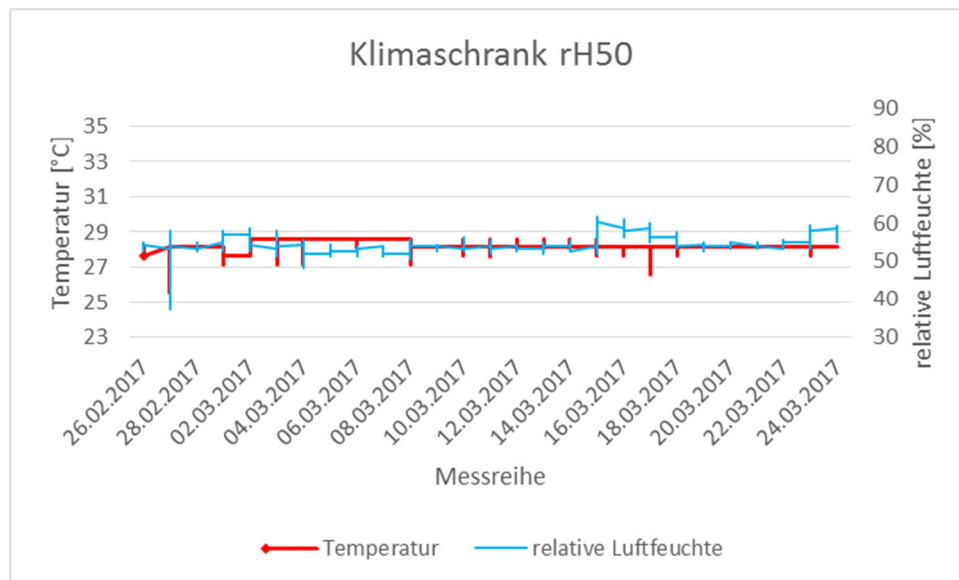
## D) Schlupf- und Überlebensrate

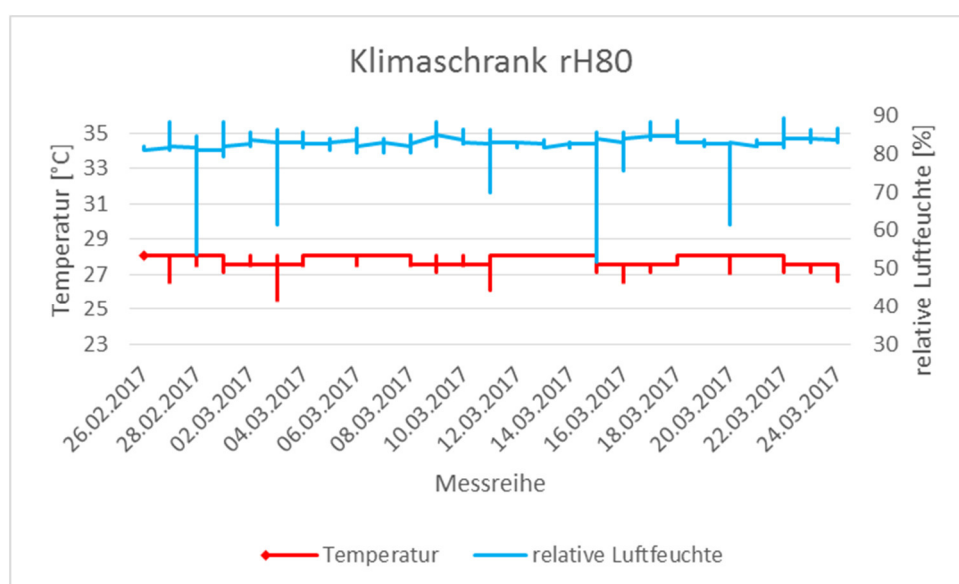
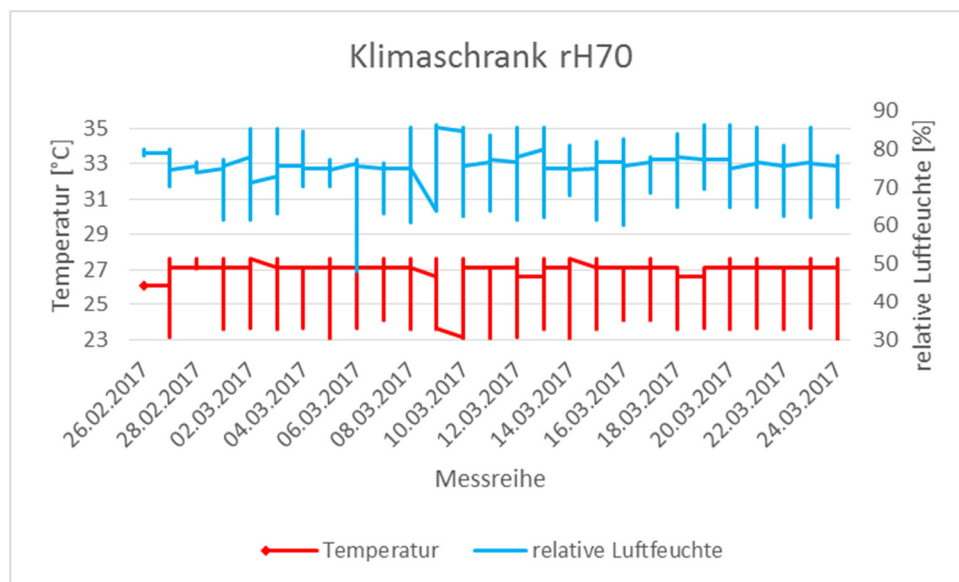
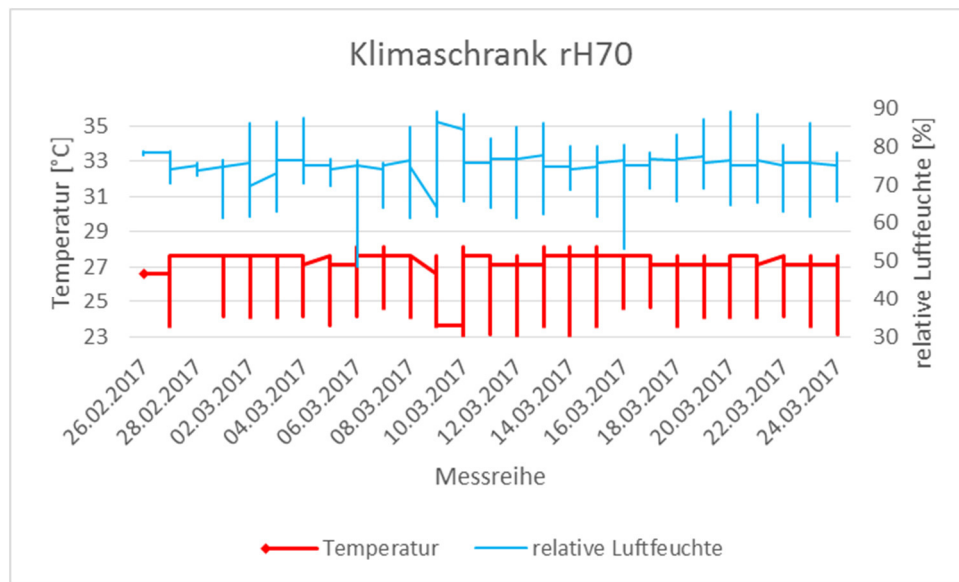
Tabelle 12 Theoretische Schlupfrate, Überlebensrate mit Tageseffekt

	rH40			rH50			rH60			rH70			rH80		
	Schlupfzahl	Ausgezählt	Überlebensrate	Schlupfzahl	Ausgezählt	Überlebensrate	Schlupfzahl	Ausgezählt	Überlebensrate	Schlupfzahl	Ausgezählt	Überlebensrate	Schlupfzahl	Ausgezählt	Überlebensrate
	Theoretisch		[%]	Theoretisch		[%]	Theoretisch		[%]	Theoretisch		[%]	Theoretisch		[%]
01.03.2017	134000	35231	26.0	135333	95223	70.4	136667	140442	58.2	135333	111848	82.6	150000	151724	101.1
02.03.2017	180550	66062	36.4	180950	160820	88.9	184500	141626	83.8	182000	63095	34.7	185350	126259	68.1
03.03.2017	200500	109657	54.6	200500	131463	65.6	205000	89324	53.0	202000	8829	4.4	200500	149661	74.6
08.03.2017	139000	81710	58.8	137000	107352	78.4	134667	51914	102.8	138000	133402	96.7	139333	91170	65.4
09.03.2017	181700	117915	64.9	182500	210789	115.5	181800	140606	76.8	181750	133467	73.4	181800	152114	83.7
10.03.2017	200000	111789	55.9	202000	104253	51.6	202000	119580	43.6	200500	125916	62.8	200000	133486	66.7
15.03.2017	134000	97601	72.8	134000	121748	90.9	134667	51914	38.5	134000	122092	91.1	133667	126066	94.3
16.03.2017	180550	107234	59.4	180900	140015	77.4	181800	140606	77.3	182650	147282	80.6	181500	193691	106.9
17.03.2017	200500	122778	61.2	201000	138464	68.9	202000	119580	59.2	203500	175102	86.0	201500	113847	56.5
22.03.2017	135000	46761	34.6	133667	114224	85.5	134333	90468	67.3	134667	77145	57.3	134667	121834	90.5
23.03.2017	180500	138797	76.9	180100	112932	62.7	182400	110945	60.8	181100	136553	75.4	180750	132628	73.4
24.03.2017	200000	109460	54.7	200000	141832	70.9	203000	108707	53.6	201000	109337	54.4	200500	131935	65.8
29.03.2017	133667	25550	19.1	134000	34948	26.1	133333	63762	47.8	134000	22088	16.5	150000	156425	104.3
30.03.2017	181150	78190	43.2	181250	116425	64.2	181050	133104	73.5	182650	72683	39.8	185700	113638	61.2
31.03.2017	201500	78655	39.0	201500	82934	41.2	201500	97476	48.4	203500	104093	51.2	201000	113631	56.5
Mittelwert	172174	88493	50.5	172313	120895	70.5	173248	106670	63.0	173110	102862	60.5	175061	133874	77.9

## D) Messreihe Klimaschränke









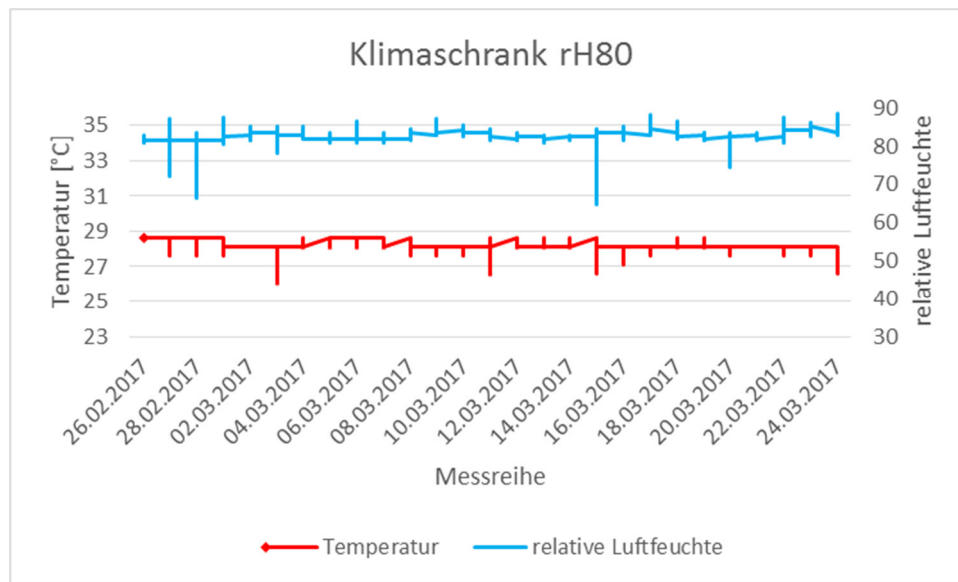


Abbildung 38 Übersicht über die Aufzeichnung der Datenlogger über die gesamte Versuchsdauer ungefiltert.

### E ) Mittelwert der Temperatur und relativen Luftfeuchte während den Versuchstagen

Tabelle 13 Tagesmittelwerte der Klimadaten der Tage, an denen die Klimaschränke mit Versuchsboxen belegt waren

Datum	Rh40C	Rh50C	Rh60C	rH70C	rH80C	rH40	rH50	rH60	rH70	rH80
22.02.	28.078	27.743375	27.617	27.455	28.1024063	44.0152258	56.609875	65.4549895	75.0457188	82.365375
23.02.	27.9849535	28.0350521	27.882625	27.5799896	28.0971875	44.0389302	54.9935	67.9211505	75.7732292	82.6855313
24.02.	28.008	28.124	28.1117917	27.3861225	28.0886275	44.73896	53.65216	65.6397979	75.5090833	82.8178235
25.02.	28.0909583	27.85275	28.402875	26.6293438	28.4044688	43.1494063	54.1359167	63.2632917	76.3880104	81.6562604
01.03.	28.070125	27.9985938	28.3253333	27.4726042	28.2273854	44.0542917	54.7768958	62.4787396	74.0339896	81.93475
02.03.	27.992	27.899625	28.0492917	27.2799792	28.118	46.4456354	56.1306146	63.5072813	74.0908854	82.9669895
03.03.	27.8615521	28.5767188	28.242	27.441375	28.0919792	43.94825	53.668625	61.5094896	74.4468021	83.3173958
04.03.	28.6003854	28.6131771	28.757625	27.5038125	28.21175	41.80375	53.6419583	60.0691667	75.4789474	83.0058021
08.03.	28.4340625	28.3579688	28.7784583	27.4465938	28.2273854	41.9826875	52.9042292	60.0024792	74.8071563	82.5663125
09.03.	28.1845729	28.134	28.1274167	27.3268125	28.1128021	43.2890625	53.8232813	62.2232708	74.6217292	83.6840729
10.03.	28.4600625	28.134	28.2836667	27.2278854	28.1128021	43.2557917	54.1805729	62.9155208	75.075125	83.6785521
11.03.	28.6108021	28.2225417	28.2211667	27.0977083	28.1857188	42.3509167	53.6559063	62.1842917	75.2202211	82.9723438
15.03.	28.1065833	28.0610833	28.3565833	27.2851146	28.1336563	44.2481979	56.5821979	61.5490833	74.8993438	82.5514583
16.03.	28.0336667	28.118375	28.117	27.5090104	28.1023958	45.4398229	59.1215104	62.7691875	75.8194792	83.6734063
17.03.	27.9815833	28.1183854	28.117	27.3111354	28.1076042	47.2306146	57.3088958	62.8366354	76.0264583	84.2939271
18.03.	28.1117917	28.1287917	28.3461667	27.1965521	28.1284167	45.3164375	55.1167083	62.1842917	76.0037368	83.8349688
22.03.	28.101375	28.134	28.5961667	27.3163542	28.1128021	43.8587708	54.2642292	61.0659583	74.9827917	82.9433646
23.03.	28.101375	28.1287917	28.3045	27.0559896	28.1076042	45.3811354	56.43	62.9779688	75.28425	83.8478229
24.03.	28.0748947	28.134	28.117	27.207	28.0917158	46.2997053	56.9493368	63.6738958	75.0558125	84.0711474
25.03.	28.3508958	28.134	28.2940833	26.780125	28.3211354	43.5867045	54.8886354	61.9887188	75.3196146	83.3104688

## F) Aufgabenstellung

Bachelor-Arbeit		
Studienjahrgang		UI14
Titel		Kultivierung von Wasabi bei drei verschiedenen Lichtspektren und zwei unterschiedlichen Wasserzusammensetzungen
• Vertraulich		ja <input type="checkbox"/> X nein <input checked="" type="checkbox"/>
Fachgebiet		Hortikultur
Namen	StudentIn	Alexander Dubsky Chilenholzstrasse 11 8614 Sulzbach Tel: 078 745 30 13 E-Mail: <a href="mailto:dubskale@students.zhaw.ch">dubskale@students.zhaw.ch</a>
	1. KorrektorIn	Jürg Grunder ZHAW Campus Grüental 8820 Wädenswil Tel: +41 58 934 55 89 E-Mail: <a href="mailto:grng@zhaw.ch">grng@zhaw.ch</a>
	2. KorrektorIn	Christoph Sandrock Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL Ackerstrasse 113 5070 Frick Tel: +41 62 865 04 19 E-Mail: <a href="mailto:christoph.sandrock@fibl.org">christoph.sandrock@fibl.org</a>

<p><b>Aufgabenstellung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ausgangslage</b></li> <li>• <b>Zielsetzungen</b></li> <li>• <b>Zusätzliche Auftrags-modalitäten</b></li> </ul>	<p><b>Ausgangslage</b></p> <p>Weltweit steigt durch wachsende Bevölkerung und Wohlstand der Bedarf nach Fleischprodukten. Da die Fleischproduktion in der Landwirtschaft abhängig von Proteinen ist, wird dieser Bedarf meist durch proteinhaltige Futtermittel wie zum Beispiel Soja oder bei den Carnivore durch Fischmehl gedeckt. Beide Futtermittel sind jedoch problematisch, da die Fütterung mit Fischmehl unweigerlich zur Überfischung der Weltmeere beiträgt und bei der Fütterung mit Ackerfrüchten eine Nahrungsmittelkonkurrenz zum Mensch entsteht. In der Europäischen Union landen zurzeit etwa 60% des produzierten Getreides als Futtermittel in der Tiermast. Dies stellt die Landwirtschaft in Zukunft vor eine grosse Herausforderung. Die Suche nach alternativen Proteinquellen wird somit immer wichtiger. Dabei rücken Lebensmittel, welche im Abfall landen in den Fokus. Laut EU wird ein Drittel der hergestellten Lebensmittel auf Konsumebene weggeschmissen. Somit gehen viele Lebensmittel, welche als Energiequelle dienlich wären verloren. Ein möglicher Weg, minderwertigen Bioabfällen in hochwertige Proteine umzuwandeln geht über die Insektenzucht, wobei die Insekten später getrocknet, mit einem hohem Eiweissgehalt als Tierfutter dienen. Eines dieser Insekten, welche sich für die Insektenzucht eignet, ist die Schwarze Soldatenfliege <i>Hermetia illucens</i>. Zurzeit gibt es wenige wissenschaftliche Untersuchungen bezüglich der Massenaufzucht der Schwarzen Soldatenfliege. Somit sind viele Schritte in der Aufzucht kaum kommerziell durchführbar. Eines dieser Probleme ist zum Beispiel die geringe Überlebensrate während des ersten Larvenstadiums.</p> <p>Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll das Schlupfverhalten der Schwarzen Soldatenfliege <i>Hermetia illucens</i> innerhalb der ersten 24 Stunden untersucht werden. Dabei liegt der Hauptfokus bei der relativen Luftfeuchte. In einem zweiten Durchlauf soll überprüft werden, ob die Futtermenge ebenfalls einen Einfluss auf die Überlebensrate der Larven hat. Die Ergebnisse sollen somit die idealen Bedingungen in der Anfangsphase festlegen.</p> <p><u>Forschungsfragen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ist die Überlebensrate im ersten Larvenstadium abhängig von der relativen Luftfeuchte und wenn ja, wie hoch muss diese gewählt werden?</li> <li>- Hat eine erhöhte Luftfeuchte bereits einen positiven Einfluss beim Larvenschlupf aus den Eihüllen?</li> <li>- Hat die Futtermenge einen Einfluss auf die Überlebenschance der Larven und wie wirkt sich diese auf das Durchschnittsgewicht aus?</li> </ul> <p><b>Zielsetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau eines Versuchs, welcher anhand von 5 verschiedenen Einstellungen die ideale relative Luftfeuchte innerhalb der ersten 24 Stunden ermittelt. Dies wird anhand des Gewichts der Larven nach 7 Tagen ermittelt.</li> <li>• In einem zweiten Durchlauf mit angepasster Luftfeuchtigkeit sollte der Einfluss der Futtermenge auf das Überleben und Durchschnittsgewicht der Larven untersucht werden.</li> <li>• Um klare Aussagen zu machen, werden die erhaltenen Resultate mit dem Statistikprogramm R ausgewertet.</li> </ul>
---	---

**Zusätzliche Auftragsmodalitäten**Erwartete Resultate

- Bachelorarbeit, gemäss Weisungen ZHAW
- Präsentation und Verteidigung
- Poster
- Bewerbung per E-portfolio
- CD/DVD zur Datenarchivierung

Provisorisches Inhaltsverzeichnis

Abstract (Zusammenfassung)

Inhaltsverzeichnis

Liste der Abkürzungen

1. Einleitung
2. Zielsetzung
3. Literaturübersicht
  - 3.1 Lebensraum von *Hermetia illucens*
    - 3.1.1 Verbreitung
    - 3.1.2 Klima
    - 3.1.3 Nahrung
  - 3.2 Massenhaltung
    - 3.2.1 Ansprüche
    - 3.2.2 Fortpflanzung
    - 3.2.3 Larven-Mast
    - 3.2.4 Larven-Ernte
    - 3.2.5 Problematik und Forschungslücken
4. Versuch am FiBL
  - 4.1 Bisherige Erkenntnisse
    - 4.1.1 Frühes Larvenstadium
    - 4.1.2 Futtermenge
5. Methode
6. Resultate
  - 6.1 Einfluss der Relativen-Luftfeuchte
  - 6.2 Einfluss der Futtermenge auf die Mortalität
7. Diskussion
8. Schlussfolgerungen
  - 8.1 Zusammenfassung
  - 8.2 Wissenschaftlicher Beitrag
  - 8.3 Ausblick
9. Literaturverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Anhang

Poster (A4)

Arbeit in digitaler Form (CD)

<b>Formale Anforderungen</b>	<i>Die Weisungen zur Arbeit müssen gelesen und erfüllt werden.</i> <a href="https://www.zhaw.ch/de/lsvm/studium/studiweb/bachelor/pruefungen-und-studentische-arbeiten/">https://www.zhaw.ch/de/lsvm/studium/studiweb/bachelor/pruefungen-und-studentische-arbeiten/</a>
<b>Zeitplan</b>	<i>Siehe Anhang</i> <b>Abgabedatum: 07.09.2017</b>
<b>Bemerkungen</b>	<b>Abgabeform</b> Arbeit: Schriftlich in gebundener Form plus elektronisch auf CD-ROM  Poster: Schriftlich in Form eines A4-Ausdrucks und in elektronischer Form
<b>Arbeitsort</b>	ZHAW Wädenswil  FiBL Frick

Plagiate verstossen gegen die Urheberrechte, eine Verletzung dieser Rechte wird gemäss der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge der Hochschule Wädenswil vom 01.09.2006 in § 38, 39 geregelt. Diese Studien- und Prüfungsordnung gilt für alle Bachelorstudienjahrgänge bis und mit Studienstart 2009.

Für Bachelorstudienjahrgänge mit Studienbeginn ab 2010 und die Masterstudiengänge mit Studienbeginn ab 2009 gilt § 39 der Rahmenprüfungsordnung für Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29.01.2008

[illegible]

## Farbcodes

## Tätigkeiten

## Meilensteine

Abwesenheit





## Poster

Zürcher Hochschule  
für Angewandte WissenschaftenLife Sciences und  
Facility ManagementIUNR Institut für Umwelt und  
Natürliche Ressourcen

06.09.2017

Alexander Dubsky, dubskae@students.zhaw.ch

## Bachelorarbeit: Einfluss der relativen Luftfeuchte und Futtermenge auf die Überlebensrate während des ersten Larvenstadiums der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*)

### Einleitung

Durch den weltweit stetig ansteigenden Fleischkonsum erhöht sich kontinuierlich auch der Bedarf an Futtermitteln für die Tiermast. Diese Futtermittel sind jedoch oft auch für den menschlichen Verzehr geeignet, wie zum Beispiel Soja oder Getreide. Was dies anbelangt, sind die potentiell verfügbaren Agrarflächen jedoch bereits erschlossen. Trotzdem steigt seit Jahren die Nachfrage nach diesen Futtermitteln stetig an was kontinuierlich auch die Preise in die Höhe treibt. Die Suche nach alternativen Proteinquellen ist daher unerlässlich. Insekten allgemein, insbesondere die Schwarze Soldatenfliege, oder auch Schwarze Waffenfliege *Hermetia illucens*, bringen in diesem Bereich viel Potential mit sich. Untersuchungen in der Tiermast haben aufgezeigt, dass diese als alternative Proteinquelle durchaus dienlich wären. Die Larven der Schwarzen Soldatenfliege können Bioabfälle verwerten und dabei im getrockneten Zustand einen Rohprotein und Rohfettgehalt von  $\pm 42\%$  und  $\pm 35\%$  erreichen. Bis anhin stellt die Larvenzucht jedoch limitierende Engpässe dar durch hohe Mortalitätsraten zu Beginn des ersten Larvenstadiums. Um eine grossflächige Produktion mit effizienten Abläufen zu ermöglichen, bedarf es noch weiterer Forschung.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick, primär der Einfluss der relativen Luftfeuchte während des Schlüpfens und der folgenden 24 h des ersten Larvenstadiums untersucht. Dieser Einfluss wurde bei gleichbleibendem Versuchsdesign, also mit verschiedenen relativen Luftfeuchtekonzentrationen während der ersten 24 h auf die Wachstumsperiode der ersten Woche (8 Tage) untersucht. Anhand der Überlebensraten der Larven, welche am Schluss durch auszählen bestimmt wurde, sollte die ideale Luftfeuchte für die Larvenaufzucht innerhalb der ersten 24 h bestimmt werden. Zusätzlich wurde die Auswirkung einer erhöhten Futtergabe überprüft.

### Methode

Während 5 Wochen werden an je 3 Tagen Versuchszeit pro Woche 5 Test-Gruppen (rLF) mit unterschiedlichen relativen Luftfeuchten (rLF) (40 %, 50 %, 60 %, 70 % und 80 %) untersucht. Die ersten 3 Wochen erhalten die Larven normale Futterrationen, welche dann in den Wochen 4 und 5 erhöht werden (+50%). Die rLF wird mittels Klimaschränken, während der ersten 24 h eingestellt. Damit jeden Tag ungefähr die gleiche Menge an Larven schlüpft, werden 3-mal wöchentlich Eierkartons mit 400'000 Eiern den Gruppen beigefügt. 4-5 Tage später rieseln die frisch geschlüpften Larven in eine Versuchsbox (Abb. 1), welche ein Futtersubstrat enthält und 24 h inkubiert wird. Danach kommen alle Boxen zusammen in einen gemeinsamen Klimaschrank und werden weitere 4 Tage bei rLF 70 % inkubiert. Während des Wechsels werden alle Gruppen gleich behandelt, damit ausschliesslich der Unterschied während der ersten 24 h einen Effekt hinterlässt. Nach 5 Tagen bekommen die Larven eine zweite Futtergabe und werden bei Raumklima (27 °C und 50-55 % rLF) 2 weitere Tage inkubiert. Nach 7 Tagen werden die Larven gesiebt und deren Durchschnittsgewicht sowie die Gesamtzahl ermittelt (Abb. 2). Die Gesamtzahl soll später in einer statistischen Erhebung Aufschluss über die Überlebensrate geben, welche durch die rLF und erhöhte Futtermenge beeinflusst wird. Dabei wird angenommen, falls die rLF innerhalb der 24 h keinen Einfluss auf die Überlebensrate hat, sollten keine Unterschiede zwischen den Replikaten feststellbar sein.

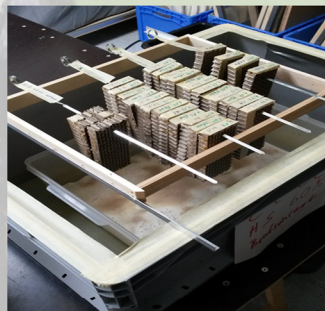


Abbildung 1: Eierkartons mit Eiern befinden sich über einer Box mit Futtersubstrat. Die geschlüpften Larven fallen auf das Substrat (A. Dubsky)



Abbildung 2: Ausgesiebte Larven der Gruppe rH40 (A. Dubsky)

### Resultate

Die statistischen Resultate sind in Tabelle 1 aufgelistet.

#### Anzahl

Die statistische Untersuchung mittels ANOVA identifiziert einen signifikanten negativen Einfluss geringerer rLF bei rH50-rH40 ( $t=3.150$ ;  $P=0.0289$ ), rH80-rH40 ( $t=4.412$ ;  $P=0.0001$ ). Die Gruppen rH50, rH60, rH70 und rH80 unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Überlebensrate lag bei rH80 um  $54.31 \pm 12.40\%$  und bei rH50  $39.64 \pm 13.92\%$  höher als bei rH40. Die geerntete Larvenanzahl ist in Abb. 3 ersichtlich.

#### Durchschnittliches Larvengewicht

Der ANOVA konnte bei den paarweisen Kontrasten einen negativen signifikanten Einfluss höherer rLF zwischen rH80-rH40 nachweisen ( $t=3.121$ ;  $P=0.0314$ ). Deutlich signifikant höherer Unterschied lag zwischen den verschiedenen Futtermengen, wobei mehr Futter zu schwereren Larven führte ( $t=7.166$ ,  $P<0.0001$ ). So waren die Larven durchschnittlich  $109.70 \pm 24.57\%$  schwerer bei erhöhten Futtergaben, welches aus der Abbildung 4 entnommen werden kann. Zusätzlich ergab eine Regressionsanalyse, dass das Larvengewicht mit der Larvenanzahl signifikant korreliert ( $r=-0.737$ ,  $P<0.0001$ ,  $n=72$ ). Je höher die geerntete Anzahl Larven war, umso leichter war das Larvengewicht. Diese Korrelation ist in Abbildung 5 abgebildet.

#### Biomasse

Bei der Biomasse konnte mittels ANOVA ein signifikanter positiver Einfluss der Futtermenge jedoch keiner durch die Luftfeuchte identifiziert werden (Luftfeuchte:  $F_{4,66}=0.36$ ,  $P=0.836$ ; Futtermenge:  $F_{1,66}=137.269$ ,  $P<0.0001$ ). So konnte bei den Wochenblöcken mit erhöhter Futtermenge,  $55.7 \pm 3.96\%$  mehr Biomasse geerntet werden. Eine Regressionsanalyse, ersichtlich in Abb. 6 zeigte ebenfalls, dass die Biomasse mit dem Larvengewicht zusammen korrelierte ( $r=0.400$ ,  $P<0.0001$ ,  $n=72$ ). Die Biomasse korrelierte jedoch mit der Larvenanzahl nicht.

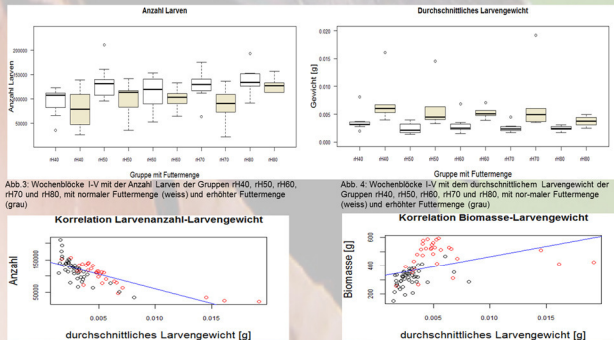


Abb. 3: Wochenblöcke 1-1V mit der Anzahl Larven der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80, mit normaler Futtermenge (weiss) und erhöhter Futtermenge (grau)

Abb. 4: Wochenblöcke 1-1V mit dem durchschnittlichen Larvengewicht der Gruppen rH40, rH50, rH60, rH70 und rH80, mit normaler Futtermenge (weiss) und erhöhter Futtermenge (grau)

Abb. 5: Korrelation zw. Larvenanzahl und Larvengewicht, aller ausgezählten Proben mit normaler Futtermenge (schwarz) und erhöhter Futtermenge (rot)

Abb. 6: Korrelation zw. Biomasse und Larvengewicht, aller ausgezählten Proben mit normaler Futtermenge (schwarz) und erhöhter Futtermenge (rot)

Tabelle 1: Zusammenfassung der Resultate. Die Tabelle zeigt horizontal gelesen, bei welcher relativen Luftfeuchte und bei welcher Futtermenge ein Unterschied in der Larvenanzahl, dem Larvengewicht, respektive der Biomasse festgestellt werden konnte. Die Bezeichnung „ab“ bedeutet, dass kein signifikanter Unterschied zu anderen Gruppen gefunden wurde. Die Gruppen, welche statistisch belegt werden, dass sich die mit a bezeichneten Gruppen von den b Gruppen unterscheiden.)

	rH40	rH50	rH60	rH70	rH80	Futtermenge [A]	Futtermenge [B]
Larvenanzahl	a	b	ab	ab	b	a	b
Larvengewicht	a	ab	ab	ab	ab	a	b
Biomasse	ab	ab	ab	ab	ab	a	b

### Diskussion

Der durchgeführte Versuch konnte aufzeigen, dass die rLF innerhalb der ersten 24 h einen signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate, auf den Larvenschlupf und das erste Larvenstadium hat. Es scheint, dass die höhere rLF optimalere Bedingungen für die biologische Schlupfrate bietet, was eine deutlich bessere Überlebensrate mit sich bringt. Die Gruppe rH80 hatte im Gegensatz zu der schlechtesten Gruppe rH40, eine  $54.31 \pm 12.40\%$  höhere Überlebensrate. Interessanterweise war ebenfalls nur rH50 mit  $39.64 \pm 13.92\%$  signifikant besser als rH40 während die Gruppen rH50, rH60, rH70 und rH80 untereinander keine signifikante Unterschiede aufwiesen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei einer stärkeren Replikation sich der Unterschied zwischen den Gruppen rH60 und rH70 zu rH40 evtl. sogar statistisch absichern lassen könnte. Die rLF hatte einen negativen Einfluss auf das durchschnittliche Larvengewicht wie der Unterschied der Gruppen rH80 und rH40 aufzeigen konnte. Da die rLF nur innerhalb der 24 h auf das Resultat Einfluss nehmen konnte, hatte das Futter (6. Tage) einen deutlich höheren Einfluss bezüglich des Larvengewichts und Biomasse. Diese hatte einen positiven Einfluss auf das Larvengewicht, jedoch einen negativen auf die Überlebensrate. So waren die Larven der Wochenblöcke mit mehr Futter im Schnitt  $109.7 \pm 24.56\%$  schwerer aber hatten einen  $18.2 \pm 9.45\%$  eine tiefere Überlebensrate. Es wird vermutet, dass bei höheren Futtergaben Mikroorganismen sich in von den Larven ungenutzten Futterstellen schnell vermehren und die Larven eventuell durch nachteilige Stoffwechselprodukte negativ beeinflussen können.

#### Schlussfolgerung

Eine tiefe rLF während der ersten 24 h des ersten Larvenstadiums wirkt sich negativ auf die Überlebensrate aus. Zu empfehlen ist, für eine erfolgreiche Larvenaufzucht, eine rLF von über 50% und höher zu wählen. Eine rLF von über 70% scheint jedoch deutlich besser zu sein, was die höchste Überlebensrate von rH80 bestätigt. Da der Versuch bezüglich der rLF nur die ersten 24 h analysierte, kann lediglich über diese Zeitspanne eine Empfehlung abgegeben werden. Um diese auszuweiten, müssten weitere Versuche folgen, welche den Einfluss der rLF über einen längeren Zeitraum erfassen. Es konnte aufgezeigt werden, dass grössere Futtermengen einen negativen Einfluss auf die Überlebensrate ausüben. Die erhobenen Parameter Larvenanzahl, Larvengewicht und gesamte Biomasse stehen hierbei in unterschiedlich starken Abhängigkeitsverhältnissen. Bei tiefer Larvenanzahl sind das Larvengewicht und die daraus resultierende Biomasse höher. Dies ist aber aus der Sicht einer späteren Larvenmast von Nachteil, da diese zu diesem Zeitpunkt als oberstes Ziel eine möglichst hohe Larvenanzahl definiert. Welche im Endeffekt eine höhere Futterverwertung und Biomasse mit sich bringt. Daher wird empfohlen, die Futtermenge in der Anfangsphase möglichst gering zu halten und diese erst ab der zweiten Fütterung zu erhöhen.

#### Quellen

- Berragan-Fonseca u. a., 2017) Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review
- Coormans u. a., (2017) Black Soldier Fly Biomass Processing guide
- Gobbie u. a., (2013) The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)
- van Hult, (2013) Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security
- Veldkamp u. a., (2012) Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study
- Sheppard u. a., (1994) A value added manure management system using the black soldier fly
- Hertergrundbild: <https://www.thesequaponicsource.com/blog/black-soldier-fly-larvae-for-fish-feed-angel>

**F) Plagiatserklärung****Selbständigkeitserklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Bachelorarbeit mit dem Titel „Einfluss der relativen Luftfeuchte und Futtermenge auf die Überlebensrate während des ersten Larvenstadiums der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*)“ selbständig verfasst habe. Ich erkläre, dass ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet. Mir ist bekannt, dass andernfalls (und gegebenenfalls auch nachträglich) rechtliche und/oder disziplinarische Massnahmen ergriffen werden können.

Ort, Datum

Name, Vorname

Unterschrift

Wädenswil, 6. September 2017

Dubsky, Alexander

